

eSALENG

Revista Eletrônica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - Araçatuba (São Paulo)

ISSN 2448-1432



Sumário

Engenharia Civil	4
Análise do ganho de resistência do concreto reforçado com fibras de aço incorporadas	
<i>Daniel Júnio Batista Denise Luisa Chotolli, Leandro Donizete Silvestre do Amaral, Matheus da Silva Storti¹ Paulo Roberto Gratão Borges¹ André Luis Gamino² Odilon Caldeira Filho...</i>	5
Análise de produção e ensaios normativos em blocos de concreto	
<i>Anderson José de Almeida, Jeferson Maiko de Almeida, André Luís Gamino</i>	26
Dimensionamento de estruturas em concreto armado utilizando-se a NBR 6118 (2014)	
<i>Felipe Rubens Deccini, Marcos José de Carvalho, André Luís Gamino</i>	43
Ensaio de ruptura do concreto reforçado com fibras em meios CAA-II aplicado em pisos industriais	
<i>Bruna Camila A. Portugal, Diego Teodoro Rebecchi, Tatiana A. S. Gonçalves Ferraz Leão, Wesley Dias, André Luís Gamino.....</i>	57
Comparação do Comportamento de Estruturas de Concreto Dimensionadas segundo as normas NBR 6118 (2007) e NBR 6118 (2014)	
<i>Michel Zanini do Amaral, Valdir Cortez Júnior, André Luís Gamino.....</i>	81
Sistema construtivo de painéis pré-moldados: análise comparativa entre obra de alvenaria convencional e obra com utilização de painéis pré-moldados	
<i>Daniele Santos, Edesilton Santos, Mauro Afonso Teramussi Monzani, Rafael de Souza Táparo, Rafael Petrolí, André Luís Gamino.....</i>	96
Comportamento de estruturas de concreto reforçadas com CFC quando submetidas à flexão simples	
<i>Fábio Cervantes Lima, Fabrício Ferreira do Nascimento, João Ernesto Fagá Teixeira, André Luís Gamino.....</i>	110
Análise comparativa entre GPS e Estação Total para levantamento de dados topográficos	
<i>Cassio Julian Leopoldo, Fernando da Silva Crivelari, Lucas Balera Esposito, Nayara Stefani Ferreira Barreto, Wellington Alexandre Sperandio, André Luís Gamino</i>	127
Trabalho em altura envolvendo andaimes simplesmente apoiados	
<i>Pablo Diego C. Scarpino, Guilherme Meira Brinas Francisco, Michael Barbieri Martins, César Roberto Menqui, Sergio Alves dos Santos Jr, Avelino Rocha</i>	145

Engenharia Mecânica 160

Projeto TILT e Lift Tabel

Enrique BasterGalea, Gustavo Grigio Gabriel, João Vitor Chiderolli, Jonathan Martins Camparoni, José Eduardo Rodrigues Dias, Luiz Felipe Barbosa Ciola, Murilo Gonzalez Oliveira..... 161

Desenvolvimento de um equipamento hidropneumático para ensaio de tração

Fabiano Freitas Oliveira, Jefferson Ferreira Menezes, Marcelo Henrique Gonçalves Montibeller, Tulio Sakomoto Belem, Odilon Caldeira Filho, Amadeu Zanon Neto..... 175

Engenharia da Computação 186

JTux: uma nova tecnologia Web para gerenciamento de servidores em ambiente Linux

Guilherme Augusto Stella, Gustavo Manzali Fernandes, Alexandre Marcelino..... 187

Desenvolvimento de Drone Gerenciado por Aplicativo Mobile – SmartDrone

Eglaucio Felipe Melo, Vinícius Fernandes Peres, Renato De Aguiar Teixeira Mendes..... 200

Engenharia Civil

Análise do ganho de resistência do concreto reforçado com fibras de aço incorporadas

Strength analysis of steel fibers reinforced concrete

Daniel Júnio Batista¹
Denise Luisa Chotolli¹
Leandro Donizete Silvestre do Amaral¹
Matheus da Silva Storti¹
Paulo Roberto Gratão Borges¹
André Luis Gamino²
Odilon Caldeira Filho³

RESUMO

O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil devido ao seu baixo custo e boa resistência à compressão. Porém, diante de esforços à tração possui comportamento frágil. Para suprir esta deficiência, algumas técnicas são utilizadas, como o emprego de armadura (concreto armado) e a utilização de fibras metálicas. Neste trabalho foi analisado o ganho de resistência das amostras de concreto com fibras metálicas dos tipos ancorada e corrugada. Para isso foram moldados corpos de prova cilíndricos e prismáticos, utilizando as fibras incorporadas e o cimento CP-V (alta resistência inicial), a fim de se obter uma maturação mais rápida do material. A dosagem usada foi a mesma para ambas as amostras com fibras e para as de referência, ou seja, sem fibras, para a comparação dos resultados. Os ensaios de ruptura foram realizados na idade de 14 dias após a moldagem dos corpos de prova. Os resultados obtidos permitem concluir que as fibras auxiliam no controle de fissuração do concreto, ganho de resistência à compressão e tração.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

³ Mestre em Engenharia Mecânica. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

Palavras-Chave: Concreto; Fibras metálicas ancoradas; Fibras metálicas corrugadas; Controle de fissuração.

ABSTRACT

Concrete is a material widely utilized in the civil construction by his low cost and good compression strength. However, opposite efforts to traction has fragile behavior. To supply this deficient, some techniques are used, like using steel armor (armed concrete) and application of steel fibers. In project, was analyzed the gain of strength in the samples of concrete with steel fibers from types anchored and corrugated. Thereunto were molded cylindrical and prismatic proof bodies using steel fibers incorporated and cement CP-V (high initial strength), in order to obtain a faster maturation of the material. The dosage used was the same for both the samples with fibers and the reference, so without fibers, for comparison of results. The break tests were performed at age of 14 days after molding of the proof bodies. The results show that steel fibers assist in the cracking control of concrete, gain of strength to compression and traction.

Keywords: Concrete; Anchored steel fibers; Corrugated steel fibers; Cracking control.

Introdução

O desenvolvimento da civilização forçou a criação e melhoramento da tecnologia para o aprimoramento da infraestrutura, tais como: construção de pontes, verticalização das edificações, ferrovias, rodovias e estações de tratamento de água e esgoto.

Dentre os materiais criados e aprimorados durante o desenvolvimento tecnológico está o concreto, que é amplamente utilizado na sociedade devido ao seu baixo custo, facilidade de encontrar seus componentes e boa resistência à compressão.

Apesar de suas qualidades, quando sob tensão, apresenta comportamento frágil, baixa capacidade de deformação e péssima resistência à tração. Uma vez fissurado, perde totalmente sua resistência à tração (FIGUEIREDO, 2011).

De forma a trabalhar com concreto à tração, faz-se necessário o uso de um reforço, que pode ser armadura ativa, armadura passiva ou adição de fibras metálicas (ver Figura 1). Essa composição, que é formada por dois materiais de características distintas, trabalhando de forma conjunta para uma finalidade (reforço do concreto), é chamada de compósito (FIGUEIREDO, 2011).

A adição de fibras em materiais da construção civil não é recente. As Escrituras Sagradas reportam seu uso desde o Antigo Egito, na fabricação de tijolos de barro, onde se lê em Êxodo 5, 6-7: “Naquele mesmo dia o Faraó deu esta ordem aos inspetores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos” (FIGUEIREDO, 2011).

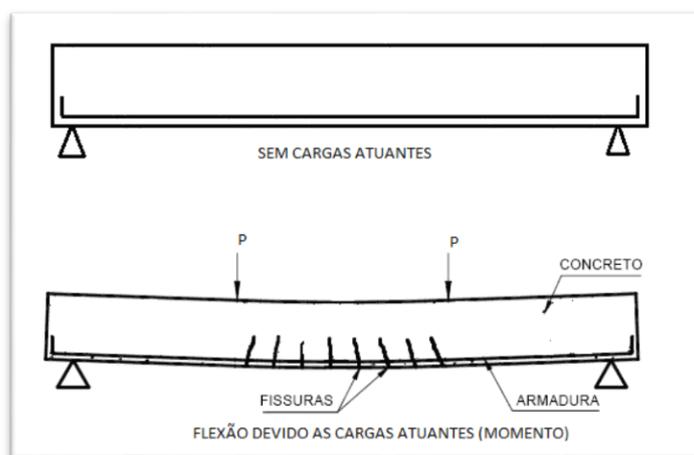


Figura 1 - Atuação do aço à tração, inibindo a abertura de fissuras. Fonte: autores.

O concreto compósito apresenta ganho nas suas características portantes como ganho de resistência à compressão, ductibilidade, resistência à tração e diminuição da fissuração. Esse aumento de resistência é ocasionado pelo bom comportamento à tração que o aço possui (FIGUEIREDO, 2011).

O presente trabalho tem a finalidade de analisar o ganho de resistência do concreto quando incorporadas fibras metálicas, utilizando dois tipos em diferentes amostras (ver Figuras 2 e 3).

Revisão bibliográfica

A fabricação do concreto reforçado com fibras metálicas inicia-se com o estudo da dosagem do concreto que será utilizado, a fim de definir as melhores proporções para se obter um traço adequado para a função desejada.

A adição de fibras metálicas ao concreto tende a deixá-lo com menor abatimento quando em seu estado fresco, ou seja, a consistência da mistura fica menos fluida.

Cada tipo de fibra irá desempenhar um papel no concreto de acordo com a característica da mesma.

[...] As fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal. [...] (FIGUEIREDO, 2011, p. 9)



Figura 2 – Fibras metálicas corrugadas do tipo C-III. Fonte: autores.



Figura 3 – Fibras metálicas ancoradas do tipo A-I. Fonte: autores.

As fibras metálicas atuam como um reforço para o concreto, “costurando” suas fissuras, já que este possui comportamento frágil, resistência à tração bem inferior em relação à compressão e baixa capacidade de deformação (ver Figuras 4, 5 e 6).

Já as fibras de aço, que possuem alta resistência e alto módulo de elasticidade, atuam como um reforço do concreto endurecido, podendo até substituir a armadura convencional em algumas aplicações. [...] (FIGUEIREDO, 2011, p. 19).

Segundo GROSSI (2006), as fibras metálicas apresentaram, recentemente, uma notória aceitação pelo mercado mundial devido ao seu elevado módulo de elasticidade, boa aderência com a matriz e facilidade de se encontrar fabricantes deste produto.

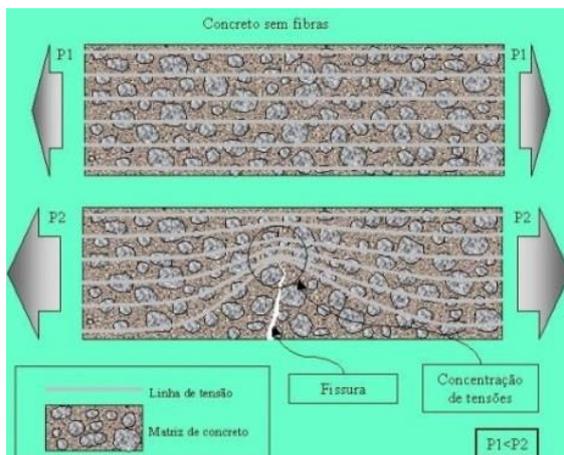


Figura 4 – Comportamento do concreto sob tensão, sem fibras. Fonte: Figueiredo, 2011.

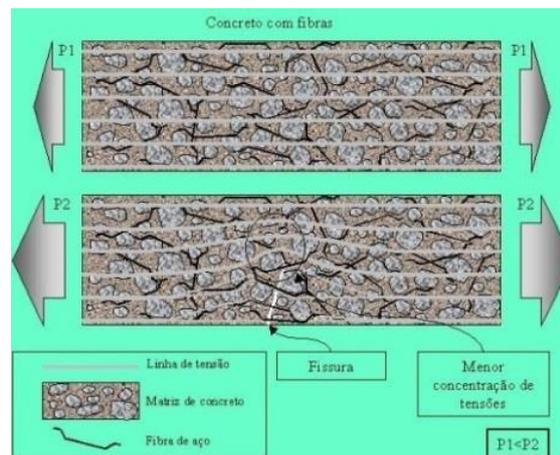


Figura 5 – Comportamento do concreto sob tensão, com fibras. Fonte: Figueiredo, 2011.

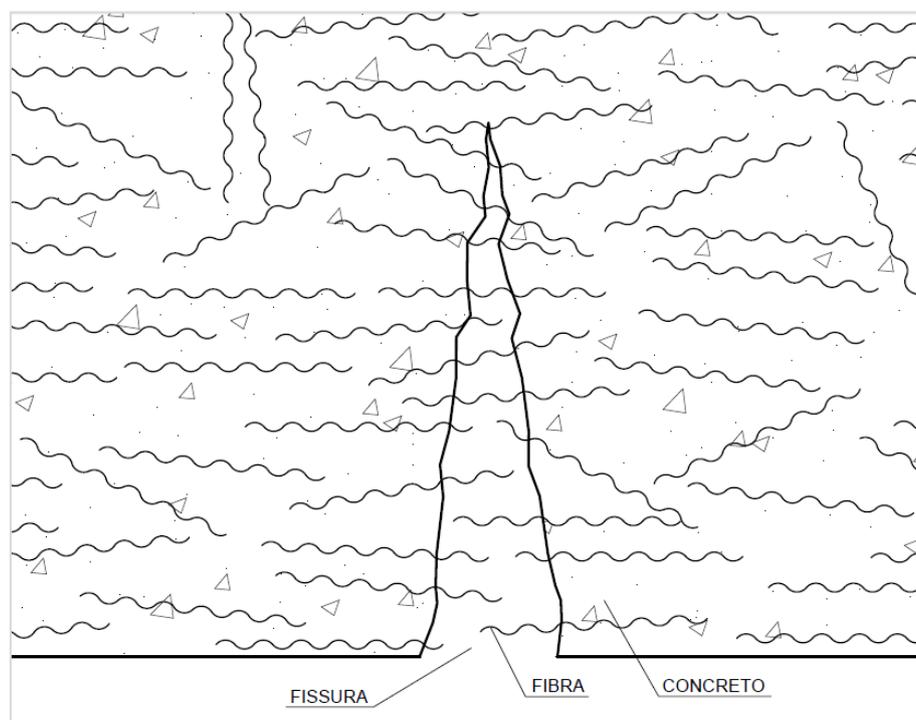


Figura 6 – Representação das fibras de aço "costurando" a fissura da matriz. Fonte: autores.

Materiais e Métodos

Metodologia

De forma a avaliar qualitativamente o desempenho das propriedades do concreto endurecido reforçado com fibras, foi criado um traço de referência (sem

fibras metálicas) através do método INT (Instituto Nacional de Tecnologia) e posteriormente adaptado para seu uso acrescido das fibras.

A execução do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira em queda livre, própria para dosagens, com capacidade real de 50 litros. Para todas as betonadas houve a necessidade de umedecer o interior da mesma a fim de evitar a aderência dos materiais na parede do balão.

Desejando obter melhores resultados na execução do traço, encontrou-se a taxa de umidade na areia grossa e descontou a mesma da massa de água, a fim de aproximar ao máximo o valor do abatimento de ensaio com o de projeto.

Para se encontrar a taxa de umidade da areia foi utilizado o método da frigideira, que consiste em submeter uma pequena amostra, antes pesada, em fogo brando até que se perca toda a umidade. Sua análise é realizada por um espelho sobre a amostra onde se pode verificar quando a evaporação da água termina. Após esse processo, pesa-se novamente a amostra, e pela diferença do primeiro peso pelo atual, encontra-se a proporção de água presente na amostragem.

A análise das propriedades do concreto fresco foi obtida a partir do ensaio de tronco de cone conforme NBR NM 67 (1998), e posteriormente moldados os corpos de prova cilíndricos e prismáticos de acordo com a NBR 5738 (2015).

Para a realização dos rompimentos foram utilizadas as normas NBR 5739 (2007), NBR 7222 (2011) e NBR 12142 (2010). Para a amostragem de cada betonada foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos, conforme recomendações da NBR 12655 (2015), considerando amostragem total.

Os moldes dos corpos de prova cilíndricos utilizados foram de 10x20 cm e 15x30 cm; para os prismáticos foram de 15x15x50 cm e 15x15x75 cm.

As fibras foram ensaiadas de acordo com as prescrições da NBR 15530 (2007) para a verificação da qualidade das mesmas, analisando-se a variação dimensional, resistência ao dobramento e verificação de defeitos.

A avaliação das propriedades do concreto endurecido foi obtida a partir dos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

A idade para obtenção da resistência para comparação escolhida foi de 14 dias, devido o tempo disponível para análise. Para isso foi usado o cimento de alta resistência inicial, o qual atinge a maior parte da sua resistência nos primeiros 7 dias, conforme NBR 5733 (1991).

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos, foi possível concluir quais os benefícios da incorporação de fibras no concreto e qual dentre os dois tipos é o mais recomendado para o reforço do compósito.

Caracterização dos materiais

Para a composição do concreto foi utilizado o cimento CPV ARI MAX, devido o curto período de tempo que leva para atingir sua resistência. O agregado miúdo utilizado foi a areia de granulometria grossa, e o agregado graúdo escolhido foi a brita 1. Ambos vieram de jazidas da cidade de Araçatuba/SP.

A água utilizada para a dosagem foi obtida a partir de um poço artesiano na cidade de Araçatuba/SP, onde está situado o laboratório da universidade.

A massa de água encontrada na areia em forma de umidade foi descontada da água de amassamento, e no lugar da mesma, adicionou-se a diferença de areia.

A Tabela 1 classifica as fibras conforme a NBR 15530 (2007), que trata sobre a especificação das fibras de aço para concreto.

Tabela 1 – Classificação das fibras metálicas.

TIPOS - FORMA DAS FIBRAS		CLASSE - PROCESSO DE PRODUÇÃO	
TIPO	DESCRIÇÃO	CLASSES	DESCRIÇÃO DA DERIVAÇÃO
A	Ancoragem nas extremidades	I	Arame trefilado a frio
C	Corrugada	II	Chapa laminada cortada a frio
R	Reta (sem ancoragem)	III	Arame trefilado e escarificado

Fonte: NBR 15530 (2007).

As fibras foram escolhidas devido aos seus diferentes formatos e limites de resistência. Os tipos que serão tratados neste trabalho são do tipo A-I (fibras ancoradas trefiladas a frio) e do tipo C-III (fibras corrugadas trefiladas e

escarificadas). A Tabela 2 ilustra as resistências à tração de cada tipo de fibra escolhida.

Tabela 2- Limite de resistência das fibras estudadas, segundo a NBR 15530 (2007).

TIPO	LIMITE DE RESISTÊNCIA DO AÇO (em MPa)
A-I	1000
C-III	800

Fonte: NBR 15530 (2007).

Traço do concreto

O traço elaborado através do método INT (Instituto Nacional de Tecnologia) foi para a classe de resistência C20, em condição de preparo “A” conforme a NBR 12655 (2015), desvio padrão de 4,0 MPa e *slump* 12 ± 2 cm, usual em concreto bombeável, pensando na trabalhabilidade do mesmo.

A proporção em massa obtida foi de 1,0:1,65:2,80:0,55 (em kg) sendo, respectivamente, cimento, areia, brita e água. A relação água/materiais secos foi de 10% e o consumo de cimento de 393,41 kg/m³.

A proporção de fibras metálicas, tanto para corrugadas quanto para ancoradas, utilizadas no concreto para cada dosagem foi de 60 kg/m³.

Ensaio para verificação da qualidade das fibras metálicas

Três ensaios com as fibras foram realizados de acordo com os prescritos pela NBR 15530 (2007). São eles explicados:

- Verificação dimensional: Para as fibras do tipo A-I, com comprimento menor que 35 mm, a variação máxima permitida em relação ao comprimento é de 10% para 60 fibras ensaiadas. Para as fibras do tipo C-III, analisando a mesma quantidade, a variação máxima permitida em relação ao comprimento é de 5%. Ambas atenderam a esses requisitos.
- Resistência ao dobramento: Para os dois tipos devem ser dobradas 10 unidades manualmente em um pino com 3,2 mm de diâmetro, em temperatura acima de 16° C e formando um ângulo de 90° sem se romper, sendo o lote aprovado com no mínimo 90% das fibras ensaiadas sem quebra. Ambas foram aprovadas neste requisito.

- Verificação de defeitos: Para ambos os tipos, uma amostra de 200 g de cada lote deve apresentar 95% da massa de fibras sem defeitos. As amostragens atenderam o requisito.

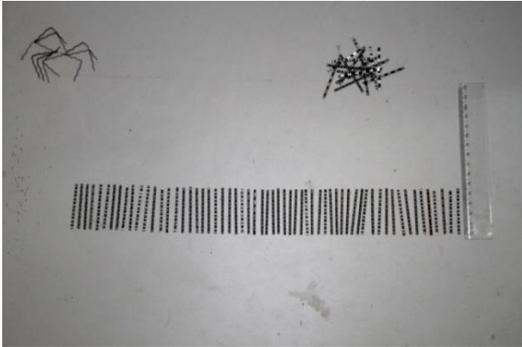


Figura 7 - Verificação das dimensões das fibras corrugadas. Fonte: autores.

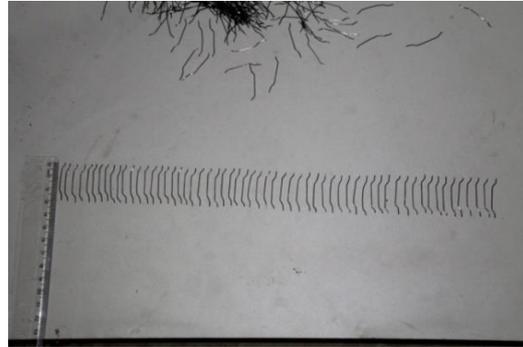


Figura 8 - Verificação das dimensões das fibras ancoradas. Fonte: autores.



Figura 9 - Pino de 3,2 mm para o ensaio de dobramento das fibras. Fonte: autores.



Figura 10 - Ensaio de dobramento manual das fibras. Fonte: autores.

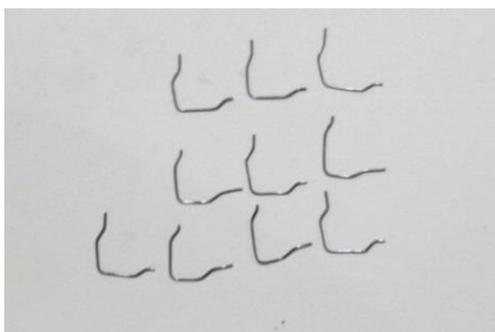


Figura 11 - Ensaio de dobramento das fibras ancoradas. Fonte: autores.

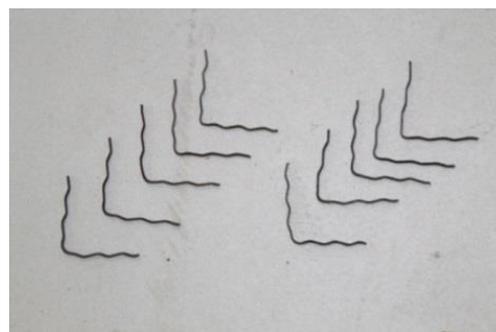


Figura 12 - Ensaio de dobramento das fibras corrugadas. Fonte: autores.



Figura 13 – Pesagem das fibras ancoradas para a verificação de defeitos. Fonte: autores.



Figura 14 – Pesagem das fibras corrugadas para a verificação de defeitos. Fonte: autores.

Tabela 3 – Plano de amostragem para um lote.

ENSAIO	AMOSTRAGEM MÍNIMA	PORCENTAGEM MÍNIMA DE FIBRAS CONFORMES
Dobramento	10 fibras	90
Verificação dimensional	60 fibras	90
Verificação de defeitos	200 g	95

Fonte: NBR 15530 (2007).

Execução do traço

Para todos os ensaios realizados, foi obedecida a seguinte sequência de adição e mistura dos materiais: primeiro, adicionou-se toda a areia e cimento, misturando ambos por 3 minutos. Em seguida, adicionou-se toda a brita, misturando por mais 3 minutos. Então, adicionou-se de forma controlada e contínua toda a água de amassamento com a betoneira em rotação. A partir daí, homogeneizou-se a mistura por 5 minutos. Após o término da mistura, retirou-se metade do concreto para que fosse feito o *slump test* e a moldagem dos corpos de prova de referência.

Para todas as dosagens, antes das execuções dos traços, primeiramente foi realizado o procedimento para a descoberta da taxa de umidade presente na areia grossa. A massa de água adicional encontrada na areia foi descontada posteriormente na proporção de água do traço.

O cálculo da massa de fibras foi executado para o volume restante na betoneira. Simultaneamente ao ensaio e moldagem do concreto de referência, as fibras foram adicionadas na betoneira, sendo misturadas ao concreto por mais 5 minutos e então realizado *slump test* e a moldagem dos corpos de prova com fibras.

Primeiro ensaio

No primeiro dia de dosagem, 13 de junho de 2015, o ensaio foi realizado para a caracterização da resistência à compressão axial. Foram realizadas ao todo duas dosagens, divididas em duas etapas cada.

Através de uma amostra de areia de 0,37 kg., encontrou-se 0,01 kg. de água presentes no agregado miúdo em forma de umidade. Portanto, descontou-se do traço o equivalente a 0,757 kg. de água proporcionais a 28 kg. de areia, e adicionou-se o mesmo valor de areia no traço. O consumo de materiais utilizados no dia segue simplificado na Tabela 4.

A primeira dosagem destinou-se a fabricação do concreto de referência (CR-FC) na etapa 1, e no volume restante do concreto adicionaram-se as fibras metálicas corrugadas (CFC), como sendo a etapa 2.

A segunda dosagem seguiu a mesma configuração mencionada: na etapa 1, o concreto de referência (CR-FA); na etapa 2, metade do volume com adição de fibras metálicas ancoradas (CFA).

O volume necessário para moldar 8 corpos de prova de 10x20 cm e realizar duas vezes o *slump test* foi de 25 litros para cada dosagem. Para tal, foi necessário o cálculo das proporções para uma massa de cimento de 10 kg, conforme tabela a seguir.

Tabela 4- Consumo de materiais utilizados na execução do traço.

CONSUMO DE MATERIAIS (em kg)					
TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	FIBRAS
CR-FC e CFC	10,0	17,3	28,0	4,74	0,75
CR-FA e CFA	10,0	17,3	28,0	4,74	0,75

Fonte: autores.

Executou-se o traço e foram retirados aproximadamente 12,5 litros de concreto para a primeira amostragem (CR-FC), foi adicionado 0,75 kg de fibras corrugadas no volume restante da betoneira para a segunda amostragem (CFC).

O *slump* verificado para o concreto sem fibras foi de 14,0 cm, e para o volume com fibras foi de 12,0 cm. Na moldagem dos 8 CP's, 4 se destinaram para o concreto de referência e 4 para o concreto com fibras corrugadas.

Após concluir a primeira dosagem, o traço foi executado novamente para a segunda, seguindo o mesmo procedimento, porém destinado ao uso das fibras ancoradas.

O *slump* analisado no concreto CR-FA (sem fibras) foi de 13,5 cm, e no concreto CFA (com fibras ancoradas) foi de 6,5 cm. O procedimento para a moldagem dos CP's foi idêntico à primeira dosagem.

Segundo ensaio

No segundo dia de dosagem, 20 de junho de 2015, o ensaio foi realizado para a caracterização da resistência à compressão diametral e à tração na flexão de vigas. Foram realizadas ao todo duas dosagens, divididas em duas etapas cada.

Através de uma amostra de areia de 0,298 kg encontrou-se 0,018 kg de água presentes no agregado miúdo em forma de umidade. Portanto, descontou-se do traço o equivalente a 3,19 kg de água proporcionais a 52,8 kg de areia, e adicionou-se o mesmo valor de areia no traço. O consumo de materiais utilizados no dia segue simplificado na Tabela V.

A primeira dosagem destinou-se à fabricação do concreto de referência (CR-FC) na etapa 1, e no volume restante do concreto adicionaram-se as fibras metálicas corrugadas (CFC), como sendo a etapa 2.

A segunda dosagem seguiu a mesma configuração mencionada. Na etapa 1, o concreto de referência (CR-FA); na etapa 2, metade do volume com adição de fibras metálicas ancoradas (CFA).

O volume necessário para moldar 8 corpos de prova de 10x20 cm, 3 vigas 15x15x50 cm, 1 viga 15x15x75 cm e realizar duas vezes o *slump test* foi de 81 litros para cada dosagem. Para tal, foi necessário o cálculo das proporções para uma massa de cimento de 32 kg, conforme tabela a seguir.

Tabela 5 – Consumo de materiais utilizados na execução do traço.

CONSUMO DE MATERIAIS (em kg)					
TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	FIBRAS
CR-FC e CFC	32	56,0	89,6	14,4	2,43

CR-FA e CFA	32	56,0	89,6	14,4	2,43
-------------	----	------	------	------	------

Fonte: autores.

Executou-se o traço e foram retirados aproximadamente 40,5 litros de concreto para a primeira amostragem (CR-FC), e adicionado 2,43 kg de fibras corrugadas no volume restante da betoneira para a segunda amostragem (CFC).

O *slump* verificado para o concreto sem fibras foi de 12,0 cm, e para o volume com fibras foi de 11,5 cm. Na moldagem dos 8 CP's cilíndricos, 4 se destinaram para o concreto de referência e 4 para o concreto com fibras corrugadas; bem como para os 4 CP's prismáticos – 2 CP's (CR-FC) e 2 CP's (CFC).

Após concluir a primeira dosagem, o traço foi executado novamente para a segunda, seguindo o mesmo procedimento, porém destinado ao uso das fibras ancoradas.

O *slump* analisado no concreto CR-FA (sem fibras) foi de 11,5 cm, e no concreto CFA (com fibras ancoradas) foi de 7,5 cm. O procedimento para a moldagem dos CP's foi idêntico à primeira dosagem.



Figura 15 – Moldes para os corpos de prova. Fonte: autores.



Figura 16 – Ensaio de *slump test*. Fonte: autores.

Terceiro ensaio (contraprova)

Durante a desforma dos corpos de prova cilíndricos do primeiro ensaio, que continham as fibras corrugadas, foi observado que a proporção de fibras usadas para este tipo em específico havia deixado uma grande quantidade de vazios nos CP's, o que ocasionou a perda de resistência do concreto de todos os exemplares, ao invés de ganho.

Diante disso, a fim de se comprovar se este efeito se limita apenas a elementos pequenos, ou se o mesmo é em escala, houve a necessidade de se executar novo ensaio. Para isso, foram moldados CP's em fôrmas cilíndricas de 15x30 cm, de forma a facilitar o adensamento dos agregados e fibras e evitar os vazios.

Para verificar a credibilidade dos resultados obtidos da prensa utilizada, 4 corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm foram moldados e enviados a um laboratório credenciado – Laboratório CETEC, de Lins/SP. Os CP's foram rompidos aos 14 dias, e utilizados como contraprova de resultados, comparando assim com os valores ensaiados na prensa de ruptura da instituição.

No terceiro dia de dosagem, 14 de agosto de 2015, o ensaio foi realizado para a caracterização da resistência à compressão axial. Foi realizada apenas uma dosagem, dividida em duas etapas.

Através de uma amostra de areia de 0,280 kg, encontrou-se 0,007 kg de água, presentes no agregado miúdo em forma de umidade. Portanto, descontou-se do traço o equivalente a 1,16 kg de água proporcionais a 46,2 kg de areia, e adicionou-se o mesmo valor de areia no traço. O consumo de materiais utilizados no dia segue simplificado na Tabela 6.

A dosagem destinou-se à fabricação do concreto de referência (CR-FC) na etapa 1, e no volume restante do concreto adicionaram-se as fibras metálicas corrugadas (CFC), como sendo a etapa 2.

O volume necessário para moldar 4 corpos de prova de 10x20 cm, 8 corpos de prova de 15x30 cm e realizar duas vezes o *slump test* foi de 71 litros. Para tal, foi necessário o cálculo das proporções para uma massa de cimento de 28 kg, conforme tabela a seguir.

Tabela 6 – Consumo de materiais utilizados na execução do traço.

CONSUMO DE MATERIAIS (em kg)					
TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	FIBRAS
CR-FC e CFC	28	47,4	78,4	14,2	2,13

Fonte: autores.

Executou-se o traço e foram retirados aproximadamente 35,5 litros de concreto para a primeira amostragem (CR-FC), e adicionado 2,13 kg de fibras corrugadas no volume restante da betoneira para a segunda amostragem (CFC).

O *slump* verificado para o concreto sem fibras foi de 14,0 cm, e para o volume com fibras foi de 8,5 cm. Na moldagem dos 12 CP's, 8 se destinaram para o concreto de referência (4 CP's de 10x20 cm e 4 CP's de 15x30 cm) e 4 para o concreto com fibras corrugadas (CP's de 15x30 cm).

Análise dos resultados

A Figura 17 apresenta os valores individuais de resistência à compressão axial dos CP's na idade de 14 dias (f_{c14}), bem como, suas resistências médias (f_{cm}) retiradas a partir dos exemplares.

O valor de $f_{ck,est}$ encontrado, a partir das resistências das amostras de referência (CR-FC e CR-FA) foi de 22,7 MPa, considerando a formação de lote única em relação ao volume de material e tempo de concretagem, de acordo com a NBR 12655 (2015). O desvio padrão encontrado foi de 2,3 MPa.

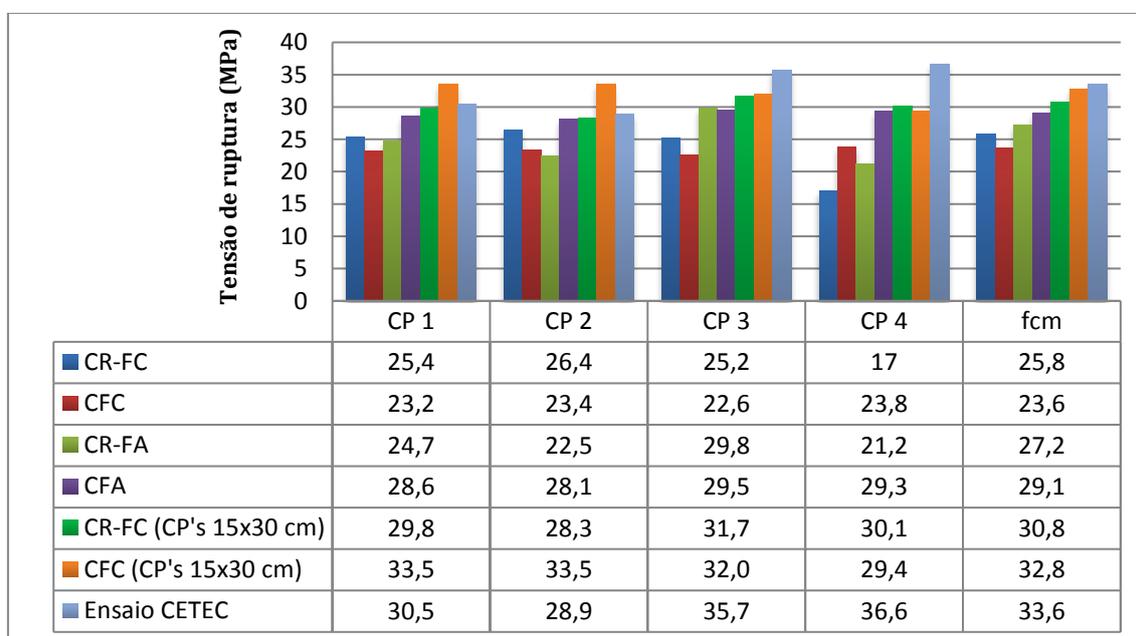


Figura 17 – Resistências à compressão axial (em MPa). Fonte: autores.

Através da resistência média (f_{cm}) pôde-se analisar o ganho percentual dos CP's de concreto com fibras em relação aos CP's sem fibras.

Os corpos de prova 10x20 cm que continham fibras corrugadas (CFC) apresentaram uma perda de resistência à compressão de 8,5% em relação aos CP's sem fibras (CR-FC), devido ao grande número de vazios encontrados nestes. Já na verificação para descobrir se este efeito era em escala ou não, utilizando CP's de 15x30 cm, registrou-se um ganho de resistência à compressão de 6,5% para os CP's com fibras corrugadas, já que esses não apresentaram vazios.

Os CP's que continham fibras ancoradas (CFA) apresentaram um ganho de resistência à compressão de 7% em relação aos CP's sem fibras (CR-FA).

Os ensaios realizados pelo laboratório da CETEC comprovaram que o traço e os ensaios realizados na instituição são confiáveis, com resultados que levaram a um $f_{ck,est}$ de 26,4 MPa e desvio padrão de 4,3 MPa.

A Figura 18 apresenta os valores individuais de resistência à tração por compressão diametral dos CP's na idade de 14 dias (f_{c14}), bem como, suas resistências médias (f_{cm}). O desvio padrão encontrado foi de 0,32 MPa.

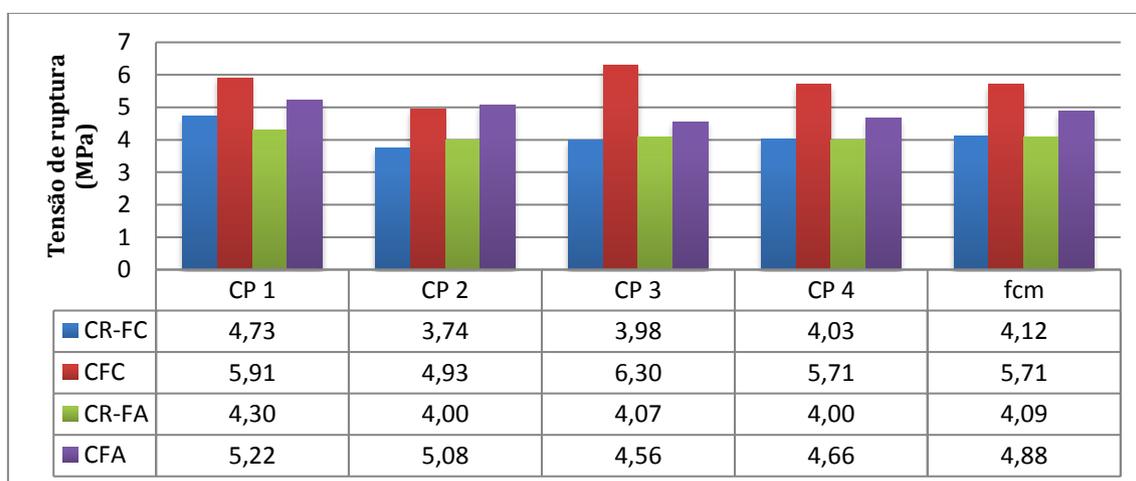


Figura 18 – Resistências à tração por compressão diametral (em MPa). Fonte: autores.

Os CP's que continham fibras corrugadas (CFC) apresentaram um ganho de resistência à tração de 39% em relação aos CP's sem fibras (CR-FC). Já os CP's

com fibras ancoradas (CFA) apresentaram um ganho de resistência de 19% em relação aos CP's sem fibras (CR-FA).

A Figura 19 apresenta os valores individuais de resistência à tração na flexão das vigas (CP's 15x15x50 cm e 15x15x75 cm) na idade de 14 dias (f_{c14}), bem como, suas resistências médias (f_{cm}). O desvio padrão encontrado foi de 0,50 MPa.

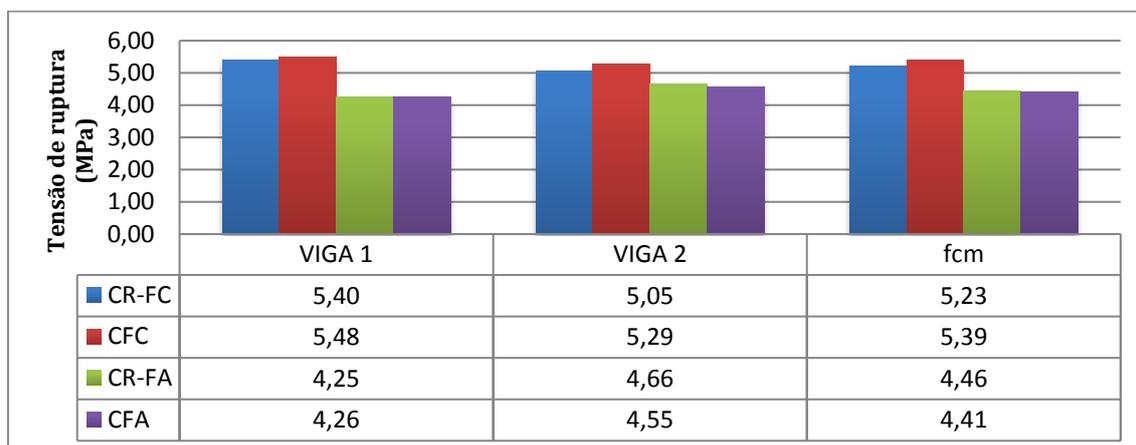


Figura 19 – Resistências à tração na flexão (em MPa). Fonte: autores.

As vigas que continham fibras corrugadas (CFC) apresentaram um ganho de resistência à tração na flexão de 3% em relação às vigas sem fibras (CR-FC). Já as vigas com fibras ancoradas (CFA) apresentaram uma perda de resistência de 1,12% em relação às vigas sem fibras (CR-FA).

A fim de conceder uma maior credibilidade aos ensaios deste trabalho, foram realizadas avaliações estatísticas de desempenho, conforme a NBR 5739 (2007). Os coeficientes de variação dos ensaios ficaram abaixo de 3,0, e que a norma classifica o ensaio como Nível 1 (Excelente).

Conclusões

Os dois tipos de fibras utilizadas neste trabalho apresentam vantagens e desvantagens impactantes sobre o concreto, quando incorporadas neste ainda fresco.

Durante as dosagens realizadas, ambos os tipos alteraram significativamente a trabalhabilidade do concreto, diminuindo o abatimento em uma média de 4,0 cm em relação ao concreto sem fibras. Isto se dá devido ao efeito

de “travamento” entre as fibras e os agregados na matriz. Para grandes concretagens, esse fato pode vir a ser um problema, levando a central dosadora a ter de usar grandes quantidades de aditivo para corrigir a má trabalhabilidade do concreto com fibras.

As fibras corrugadas mostram que limitam seu uso a elementos pequenos, pelo alto grau de dificuldade para adensá-las junto ao concreto, o que permite um grande número de vazios no elemento e levando a perda de resistência deste. A diminuição da proporção dessas fibras no concreto, ou o uso de aditivo, pode vir a melhorar este aspecto para seu uso em elementos pequenos.

Ambas as fibras apresentaram ganhos de resistência à compressão, tração via compressão diametral e a tração na flexão, sendo que as corrugadas mostraram números mais significativos, e os maiores ganhos se concentraram nos esforços à tração via compressão diametral.

Apesar de concluir que as fibras corrugadas e ancoradas reforçam o concreto, o maior aspecto observado durante os ensaios foi o controle de fissuração que as fibras causam na matriz, devido ao efeito de “costura” proporcionado durante a abertura das fissuras.

A ideia de se substituir a armadura de aço convencional pela incorporação de fibras, ou até mesmo a diminuição da taxa de armadura, ainda que em altos teores no concreto, não é recomendada para elementos estruturais altamente solicitados. A ausência de cálculos estruturais na NBR 6118 (2014) adaptados para a presença das fibras no concreto, o fato de as fibras não se distribuírem de maneira uniforme ao longo do elemento, e também pelo fato de ambas não apresentarem ganhos significativos nos esforços de tração na flexão, principal esforço em estruturas de concreto armado, impossibilitaram a recomendação de sua aplicação.

Porém, a incorporação de fibras pode elevar o tempo de escoamento da armadura, aproximando a ruptura total do concreto com a do aço, o que melhora as condições de segurança estrutural.

Em elementos que solicitam grandes volumes de concreto, como pisos industriais, onde o calor de hidratação do mesmo se eleva, a fissuração por retração da matriz pode ser totalmente anulada com a incorporação das fibras.

O presente trabalho deixa a proposta para futuras pesquisas analisarem a viabilidade econômica da aplicação das fibras em grandes concretagens. Também propõe um estudo para a inclusão das fibras nos cálculos estruturais prescritos pela NBR 6118 (2014), adaptando seu uso e visando uma melhor aplicação destas. Além de incentivar o estudo do efeito de controle de fissuração causado pelas fibras no concreto em modelagens computacionais, a fim de observar em detalhes esse efeito de abertura de fissuras em elementos submetidos à flexotração.

Agradecimentos

À empresa MatconSupply, pela doação das fibras corrugadas utilizadas nesta pesquisa. Ao Laboratório de Análises CETEC/Lins, pelo ensaio dos corpos de prova gratuitamente. À JN Concreteira, pelos rompimentos de alguns corpos de prova e pelo fornecimento de informações técnicas. Às construtoras RB Engenharia, Adriano Afonso Construções e Conscape Engenharia, por ceder os materiais que são do mesmo fornecedor. Aos nossos orientador e co-orientador, Prof. Dr. André Luís Gamino e Prof. Odilon Caldeira Filho, respectivamente, por aceitarem orientar esta pesquisa e por toda dedicação que tiveram em ajudar com todos os ensaios, correções e auxílios para o sucesso deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial*. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

FIGUEIREDO, A. D. *Concreto reforçado com fibras*. Tese (Livre – Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GROSSI, B. F. *Uma contribuição para a modelagem numérica do concreto com fibras curtas de aço*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

TASCA, M. et al. *Estudo da viabilidade de adição de fibras de aço no concreto exposto ao ambiente marítimo: Análise da melhoria das propriedades de resistência*. FURG, Rio Grande/RS, novembro 2010. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2010/05.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2015..

Análise de produção e ensaios normativos em blocos de concreto

Analysis of production and normative tests on concrete blocks

Anderson José de Almeida¹
Jeferson Maiko de Almeida¹
André Luís Gamino²

RESUMO

O bloco de concreto é utilizado na construção civil, tanto para fins estruturais como para alvenaria de vedação. O bloco de concreto é um dos artefatos mais fabricados no Brasil, porém é o que menos cumpre as especificações das normas brasileiras se forem considerados todos os fabricantes. Os blocos fabricados fora dos padrões normativos tem menor custo na sua aquisição, porém resultam em custos maiores para a edificação pronta. Neste trabalho foram analisados blocos produzidos por duas empresas que utilizam métodos e equipamentos distintos na sua linha de produção. Os resultados obtidos permitem concluir que os blocos produzidos com equipamentos mais avançados resultam em menor consumo de matéria prima e mais resistência à compressão.

Palavras-Chave: Bloco de concreto; Alvenaria estrutural; Ensaio; Resistência à compressão.

ABSTRACT

The concrete block is used in civil construction, in the structures, as in the sealing Structural masonry wall. The concrete block is one of the artifacts longer manufactured in Brazil, but does not meet the Brazilian qualifications compared to all manufacturers. The blocks made out of normative standards has lower cost in

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

its acquisition, but result in a higher costs for the finished building. Were analyzed in this study blocks produced by two companies using different methods and equipment in your production line. The results showed that the blocks produced with more advanced equipment result in lower consumption of raw material and more compressive strength.

Keywords: Concrete block; Structural masonry wall; Tests; Compressive strength.

Introdução

Os ingleses começaram a produzir blocos de concreto em 1832, ainda no formato maciço. Por volta de 1850, eles patentearam o elemento vazado, como é concebido hoje, com furos para diminuir o peso próprio. No ano de 1904 foi confeccionada a primeira máquina para produção de blocos em escala, patenteada pelos ingleses. Na Europa e no Estados Unidos são desenvolvidos os melhores equipamentos para produção de blocos de concreto. Já no Brasil, a partir do fim da década de 60, começou-se a utilizar os blocos de concreto destinados à alvenaria estrutural, apesar que a sua utilização no modelo informal como elemento de vedação já tem mais de 70 anos no país (FERNANDES, 2012, p.11).

Hoje podem ser encontrados em todos os estados o bloco de concreto, sendo utilizado como elemento de vedação e como bloco estrutural por todos os segmentos da construção civil, a partir de residências populares e de alto padrão bem como edifícios comerciais e industriais (FERNANDES, 2012, p.12).

Para a instalação de uma pequena indústria é necessário pequeno investimento. Somado a simplicidade do processo de produção, faz com que praticamente todos os dias se abram pequenas empresas. A maioria delas é desprovida de qualquer sistema de controle de qualidade, abastecendo o mercado com produtos de qualidade duvidosa. O bloco de concreto para alvenaria é um dos artefatos mais fabricados no Brasil, porém é o que menos cumpre as especificações das normas brasileiras se forem considerados todos os fabricantes. Os blocos fabricados fora dos padrões normativos têm menor custo na sua aquisição, porém resultam em custos bem maiores para a edificação pronta, ocasionando um aumento da mão de obra de assentamento e requerendo um maior consumo de argamassa no assentamento dos blocos e no revestimento das paredes. Os três

itens da norma menos cumpridos pela maioria dos blocos fabricados nas indústrias são: resistência à compressão, a absorção de água e as dimensões (FERNANDES, 2012, p.13).

Na confecção dos blocos devem ser considerados os seguintes fatores: materiais empregados na mistura do concreto, equipamentos e métodos empregados na produção e o processo de cura das peças.

Como existem no mercado diversos fabricantes de blocos de concreto, tanto a pesquisa quanto os ensaios foram realizados nas empresas Copel Engenharia na cidade de Araçatuba e Blocaço na cidade de Valparaíso. Estas utilizam métodos diferentes na produção dos blocos, para que possam ser analisadas todas as etapas de produção dos blocos e ter uma melhor visão dos resultados obtidos nos ensaios normativos.

Revisão bibliográfica

Para confecção do bloco de concreto são muitos os tipos e modelos de equipamentos que podem ser empregados na sua produção. Pode-se utilizar uma máquina manual que tem uma produção em menor escala a um custo unitário alto pela quantidade necessária de cimento na fabricação, assim como também a instalação de equipamentos mais modernos e automatizados. O mais utilizado em grandes fábricas é a vibro prensa hidráulica, conforme Figura 1. A utilização deste tipo de equipamento permite trabalhar com misturas mais úmidas e sistema de paletização automático, proporcionando uma produção 25 vezes maior se comparado com uma máquina manual. Além da velocidade, há uma redução no consumo de cimento, que acarretará em um custo unitário menor.



Figura 1 – Vibro prensa hidráulica. Fonte: autores.

O *layout* de uma fábrica de concreto tem por início o silo onde fica armazenado o cimento.

Desde as indústrias de pequeno até a de grande porte, a dosagem dos materiais para a fabricação dos blocos de concreto é realizada de diversas maneiras. Desde certa quantia de pás de material contada na betoneira, quantidades de latas, carrinhos de mão, correias transportadoras com seção controlada, até usinas gravimétricas providas de balanças controladas por CLP, que além da medição dos materiais em peso, possibilitam descontar a umidade presente nos agregados.

Logo após a dosagem, os materiais são lançados em um misturador, que é muito importante no resultado final, pois ele vai promover a perfeita homogeneização dos materiais. Neste caso, o desempenho do misturador é de suma importância, podendo ser desde os Biplanetários até os de eixo inclinado (betoneira) que misturam por gravidade e que são pouco indicados para blocos.

Existem três tipos de equipamentos para extrusão dos blocos, sendo o mais eficiente o hidráulico que emprega bomba e pistão à óleo. Neste, a prensagem conciliada com a vibração sincronizada permite a obtenção de blocos bem compactos, resultando resistências à compressão 20 MPa. Logo após vem as máquinas pneumáticas, que possuem este nome por empregar pistão movido a ar comprimido. Ele apresenta uma velocidade maior na movimentação das bandejas o que permite um maior número de ciclos por minuto. Porém, essas máquinas não

proporcionam a mesma energia de compactação que as hidráulicas, fazendo com que necessite de maior quantidade de cimento para alcançar a resistência desejada em relação às hidráulicas. E por último as máquinas manuais, que resultam em uma fabricação de blocos quase que artesanalmente, onde a falta de energia de prensagem resulta em um grande consumo de cimento o que torna muito difícil a obtenção de blocos estruturais servindo para produzir somente blocos para alvenaria de vedação (FERNANDES, 2012, pp. 25-35).

Para complemento da produção dos blocos de concreto utilizam-se alguns acessórios, tais como:

Molde – É o responsável pela formação da peça, definindo as dimensões do produto;

Escova Rotativa – é utilizada para remover as rebarbas na parte superior do bloco;

Carro Garfo – função de transportar o bloco da máquina para área de cura quando não se dispõe de pinça e prateleiras;

Bandeja – é uma placa na qual o bloco é extrusado;

Pinça – é o dispositivo que retira a bandeja da esteira e a acomoda na prateleira que irá para o compartimento de cura;

Prateleira – é utilizada para transportar as bandejas até o armazenamento para o processo de cura;

Dos materiais aplicados:

Cimento Portland – é o material mais importante na fabricação dos blocos por ser o responsável pela união dos agregados, bem como dar maior resistência ao produto acabado. Dos materiais é o que tem o maior custo. No mercado existem vários tipos de cimentos. O mais utilizado na produção de blocos é o CP V ARI (Alta Resistência Inicial), por proporcionar maior resistência nos primeiros dias de idade, podendo custar até 20 % mais caro que os cimentos comuns, mas ainda sim significa vantagem para o produtor, devido a sua desforma mais rápida;

Agregados – Todos os materiais utilizados no concreto convencional podem ser utilizados na fabricação dos blocos, como a areia e a pedra que ficam

armazenados em baias para sua utilização. A única diferença é que para produção dos blocos os grãos devem ser obrigatoriamente menores que 12,5 mm. A dimensão máxima dos grãos influencia no tempo de enchimento das formas, acabamento das peças e na durabilidade do garfo. Obtendo uma curva granulométrica bem distribuída, fazendo com que os grãos miúdos ocupem os espaços vazios entre os grãos graúdos, resultam em um menor consumo de cimento além de melhorar a aparência da peça, resistência mecânica e reduz a absorção de água;

Areia – A utilização de areia fina na mistura provoca um aumento no consumo de cimento devido a sua maior superfície específica, e proporciona também a confecção de blocos de superfície mais lisa dando um melhor acabamento. Sendo assim, muitas empresas optam por utilizar areia média ou até mesmo areia grossa;

Pedrisco – Quanto maior a adição de pedrisco, maior será a resistência dos blocos para um consumo fixo de cimento. Por outro lado, a adição de muito pedrisco resulta em um produto com um acabamento inferior aos que tem a presença de mais finos, devendo-se então encontrar a proporção ideal para manter um bom acabamento e alta resistência;

Concreto seco – É o mais indicado quando se necessita desformar o bloco imediatamente após a sua moldagem. O concreto utilizado nesses casos é denominado concreto seco, e tem uma consistência de uma “terra úmida” ou “farofa”, sendo esta a principal diferença para o concreto plástico que necessita permanecer no molde até o dia seguinte para desformar. O bloco feito com concreto seco necessita ter coesão suficiente para se manter íntegro após a extrusão ou desforma até seu endurecimento, sem ocorrer quebras, desmoronamento, deformação ou outro tipo de dano. Esta coesão ou liga obtida ainda no estado fresco só ocorre quando são utilizadas quantidades equilibradas de cada material, onde os finos têm papel importante na produção da pasta, proporcionando liga à mistura e preenchendo os vazios deixados pelos grãos maiores. Por fim, a segunda grande diferença do concreto seco é o fato de que até certo ponto, a sua resistência aumenta quando adicionada água a mistura. Este

ganho de resistência ocorre porque a mistura mais úmida é mais fácil de ser compactada, resultando em menor quantidade de vazios no interior do concreto. Com isso, é comum perceber falhas no processo de produção devido a insuficiência de água na mistura, portanto deve-se encontrar a umidade ótima, que é particular para cada tipo de produto e equipamento;

Processo de cura das peças – processo no qual se proporciona condições adequadas de umidade e temperatura para o desenvolvimento da resistência das peças. Existem vários tipos de processo, desde os convencionais de molhagem com mangueira, aspersão de água através de irrigadores, cobertura com lona plástica, até processos mais sofisticados como aplicação de vapor de água à pressão atmosférica. O processo de molhagem com mangueira é o menos aconselhável, pelo desperdício de água e pela retardação da cura pois se esfria o bloco e propicia a eflorescência devido aos ciclos de molhagem e secagem. Na relação custo-benefício, o método com lona é uma saída, devendo ser utilizada uma lona de cor preta para absorver o calor da luz solar, onde primeiramente a base será molhada e posteriormente serão depositadas as bandejas, podendo ser descobertas no dia seguinte e não necessitando-se molhar os blocos acelerando o processo de cura.

Metodologia e etapa experimental

Nesta pesquisa foram utilizados blocos de concreto produzidos por dois fabricantes que utilizam métodos de produção diferentes.

A empresa COPEL Engenharia que forneceu os blocos de vedação e bloco estrutural, utiliza em seu sistema de produção os seguintes materiais e equipamentos: cimento a granel CP V ARI (alta resistência inicial), silo de cimento a granel, unidade dosadora controlada por CLP, misturador biplanetário, vibro prensa hidráulica, escova rotativa, pinça para retirada da bandeja da esteira e acomodação na prateleira até o processo de cura através de cobertura com lona de cor preta. O processo é muito controlado devido às máquinas utilizadas terem seus controladores automatizados, dando assim uma segurança maior à produção. Os traços fornecidos pela empresa para fabricação dos blocos foram: Bloco de Vedação

1:9:8 (Cimento:Finos:Graúdos) e Bloco Estrutural 12 MPa 1:3,1:3,5 (Cimento:Finos:Graúdos).

A empresa Blocaço utiliza os seguintes materiais e equipamentos em seu sistema de produção: cimento ensacado CP V ARI (alta resistência inicial), dosagem manual em volume, misturador betoneira, prensa pneumática, escova rotativa, carro garfo para retirada da bandeja e acomodação dela no solo para o processo de cura que é feita através de molhagem com mangueira. Com isso, pode-se observar que é um processo mais manual, exigindo uma boa qualidade da mão de obra para que não ocorra erro nos processos. O traço fornecido pela empresa para fabricação do bloco de vedação foi 1:8,6:2 (Cimento:Finos:Graúdos).

Após acompanhar o sistema de produção de ambas as empresas foram coletados 9 blocos de cada lote, cuja as dimensões largura (b), altura (h) e comprimento (l) são 14 cm x 19 cm x 29 cm (b x h x l). Estas amostras foram utilizadas na realização dos ensaios de análise dimensional, absorção de água e resistência a compressão. Por fim, os resultados foram comparados com a norma NBR 12118 (2013) para verificar se há ou não conformidade com a mesma nos parâmetros analisados. Também foi realizado um ensaio de granulometria nos agregados utilizados pela empresa COPEL Engenharia e, assim, analisar de acordo com a teoria se o módulo de finura encontrado na mistura condiz com o que a literatura chama de curva granulométrica ideal.

Procedimento dos ensaios:

Ensaio de granulometria – Para se fazer o ensaio de granulometria foram coletados 2 kg de cada tipo de agregado. Posteriormente, foram colocados em uma estufa para secagem. Após a secagem foi retirado 1 kg de cada amostra de agregado para realização do ensaio. Foram colocadas em ordem crescente as peneiras encaixando uma sobre a outra, sendo colocado o material e agitado por 5 minutos em uma mesa vibratória conforme Figura 2. Por fim, foi pesada a quantidade retida em cada peneira, para determinação do módulo de finura de cada agregado. Foram somadas as percentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal (Peneira 0,15 mm à Peneira 4,8 mm), dividida por 100.



Figura 2 – Peneiramento em mesa vibratória. Fonte: autores.

Análise dimensional – Para cada dimensão do bloco ($b \times h \times l$), utilizando-se de um paquímetro foram realizadas três determinações em pontos distintos na face de maior espessura do bloco conforme Figura 3. Já para as espessuras longitudinais foram realizadas duas determinações para cada parede e uma determinação de espessura para cada parede transversal, tendo como resultado a média das determinações para cada uma das dimensões (NBR 12118, 2013).



Figura 3 – Determinação de medida com paquímetro. Fonte: autores.

Absorção de água – Para a determinação da absorção de água foi necessária a utilização de uma estufa para manter o bloco em uma temperatura de 110°C por 24 horas. Após este período foram retirados os blocos e feita a pesagem em uma balança digital devidamente calibrada e colocados novamente na estufa por um período de 2 horas. Pesado novamente e observado se não houve perda de

massa superior a 0,5 % em relação a primeira pesagem, e anotado o seu peso seco m_1 . Após a pesagem de todos os blocos, os mesmos ficaram fora da estufa até que fossem resfriados naturalmente em contato com o ar até chegar a temperatura ambiente. Posteriormente, foram submersos em um tanque com água em temperatura ambiente, onde foram mantidos por 24 horas. Por fim, as blocos foram retirados e drenados por 60 segundos sobre uma tela. Foi removida a água superficial com um pano úmido e feita a sua pesagem para anotar sua massa saturada m_2 . Para concluir o ensaio, fez-se uso da equação abaixo para determinar a taxa de absorção da amostra (NBR 12118, 2013).

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde:

a é a absorção total, expressão em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

Resistência à compressão – Os seis blocos que foram utilizados nos ensaios de análise dimensional foram posteriormente utilizados neste ensaio. A norma NBR 6136 (2014) exige no mínimo seis blocos para um lote de até cinco mil unidades, oito blocos para um lote de até dez mil unidades e dez blocos para lotes acima de dez mil unidades. Os blocos tiveram suas faces regularizadas com uma camada de gesso não superior a 3 mm, deixando 24 horas para a secagem completa do capeamento. Todos os corpos de prova foram ensaiados na prensa de modo que o seu centro de gravidade coincidissem com o eixo de carga dos pratos da prensa conforme figura 4. A carga aplicada sofreu aumento progressivo como diz a norma NBR 12118 (2013), porém com velocidade de aplicação de carga diferente conforme tal indicação: nos blocos de vedação foi aplicada carga a taxa de 0,05 MPa/s; nos blocos estruturais $f_{bk} \geq 8$ MPa foi aplicada carga a taxa de 0,15 MPa/s

A dimensão do bloco é expressa em milímetros (mm) e o valor da carga máxima aplicada expressa em Newtons (N). Tendo como valor da resistência à compressão para cada corpo de prova arredondado ao décimo de unidade,

expresso em megapascal (MPa), o valor obtido dividindo-se a carga máxima em newtons (N), observada durante o ensaio, pela área bruta dos blocos em milímetros quadrados (mm²). Porém para determinação do $f_{bk,est}$ (resistência característica do lote), que é o parâmetro avaliado pela norma NBR 12118 (2013) deve se fazer uso da equação abaixo.

$$f_{bk,est} = 2 \cdot \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi}$$

Onde:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n - 1)/2$, se n for ímpar;

$f_{bk,est}$ – é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascal;
 $f_b(1), f_b(2) \dots f_{bi}$ – são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n – é igual ao número de blocos da amostra.

E, por fim, não se deve tomar para $f_{bk,est}$ valor menor que $\psi \cdot f_b(1)$, adotando-se $\psi = 0,89$ para quando utilizar 6 corpos de prova por lote.



Figura 4 – Ensaio de compressão. Fonte: autores.

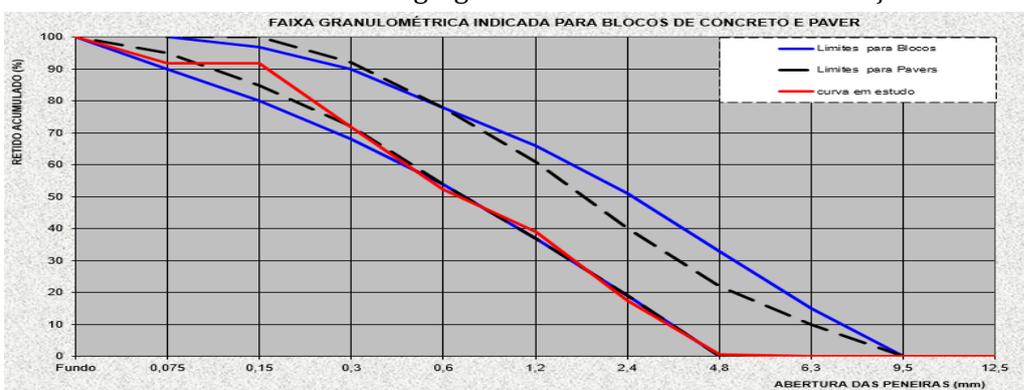
Resultados obtidos e análise

Ensaio de granulometria

No ensaio granulométrico dos materiais aplicados na produção do bloco

de concreto estrutural observa-se que a curva granulométrica utilizada pela empresa COPEL ficou fora da curva ideal de acordo com a bibliografia. A mistura apresentou um módulo de finura de 2,64, ou seja, nesta mistura contém um maior número de finos e conseqüentemente aumenta o consumo de cimento para alcançar a resistência desejada. Já na produção do bloco de concreto para vedação foi observado, conforme o Gráfico 1, que a curva granulométrica utilizada pela empresa COPEL apresentou resultado melhor em relação à anterior, obtendo um módulo de finura de 2,73, fazendo com que o consumo de cimento seja menor para alcançar a resistência desejada.

Gráfico 1 – Granulometria dos agregados utilizados no bloco de vedação 3 MPa.



Fonte: autores.

Em ambos os casos, a curva granulométrica apresentada poderia ser melhor distribuída, fazendo com que fosse utilizada uma menor quantidade de cimento para alcançar a mesma resistência.

Análise dimensional

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos na análise dimensional dos blocos de concreto utilizados nos ensaios.

Tabela 1 – Resultados obtidos (b x h x l) para os blocos de vedação.

Nº	Bloco de Vedação		Bloco de Vedação		Bloco de Vedação	
	BLOCAÇO	COPEL	BLOCAÇO	COPEL	BLOCAÇO	COPEL
	Largura Média (mm)		Altura Média (mm)		Comprimento Médio (mm)	
1	141	141	198	190	289	291
2	142	142	193	190	290	291
3	142	141	194	190	290	291

4	140	140	198	190	289	290
5	141	142	194	189	290	291
6	142	142	195	191	290	291
Não conformidade	0	0	5	0	0	0

Obs.: Tolerância +- 3mm para Altura e Comprimento e +- 2mm para Largura NBR 6136 (2014).

Fonte: autores.

Tabela 2 – Resultados obtidos de espessura para os blocos de vedação.

Nº	Bloco de Vedação		Bloco de Vedação	
	BLOCAÇO	COPEL	BLOCAÇO	COPEL
	Espessura Transversal (mm)		Espessura Longitudinal (mm)	
1	26	30	29	32
2	37	31	33	32
3	37	32	31	33
4	30	32	28	33
5	32	31	32	34
6	30	31	32	34
Não conformidade	0	0	0	0

Obs.: Tolerância - 1mm para cada valor individual NBR 6136 (2014).

Fonte: autores.

Tabela 3 – Resultados obtidos (b x h x l) para os blocos estruturais.

Nº	Bloco de Estrutural 12 MPa	Bloco de Estrutural 12 MPa	Bloco de Estrutural 12 MPa
	COPEL	COPEL	COPEL
	Largura Média (mm)	Altura Média (mm)	Comprimento Médio (mm)
1	142	191	290
2	142	190	292
3	142	190	290
4	142	190	290
5	142	191	291
6	142	190	290
Não conformidade	0	0	0

Obs.: Tolerância +- 3mm para Altura e Comprimento e +- 2mm para Largura NBR 6136 (2014)

Fonte: autores.

Tabela 4 – Resultados obtidos de espessura para os blocos estruturais.

Nº	Bloco de Estrutural 12 MPa	
	COPEL	
	Espessura Transversal (mm)	Espessura Longitudinal (mm)
1	32	32
2	32	32
3	31	33
4	30	34
5	32	33
6	31	32
Não conformidade	0	0

Obs.: Tolerância - 1mm para cada valor individual NBR 6136 (2014)

Fonte: autores.

Após a realização do ensaio dimensional em todas as amostras coletadas, foi constatado que apenas os blocos de vedação da empresa Blocaço não apresentaram conformidade com os parâmetros da norma no que diz a respeito à altura do bloco.

Absorção de Água

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos no ensaio de absorção de água dos blocos de concreto.

Tabela 5 – Resultados de Absorção obtidos nos ensaios dos blocos de vedação.

Nº	Bloco de Vedação		Bloco de Vedação	
	BLOCAÇO		COPEL	
	Absorção Individual (%)	Absorção Média (%)	Absorção Individual (%)	Absorção Média (%)
1	8,78	8,64	5,37	5,91
2	8,63		5,94	
3	8,51		6,42	
Conformidade	OK	OK	OK	OK

Obs.: Bloco sem função Estrutural Absorção Individual $\leq 12,0\%$ e Absorção Média $\leq 10,0\%$.

Fonte: autores.

Tabela 6 – Resultados de Absorção obtidos nos ensaio do bloco estrutural.

Nº	Bloco Estrutural 12 MPa	
	COPEL	
	Absorção Individual (%)	Absorção Média (%)
1	5,69	5,57
2	4,45	
3	6,58	
Conformidade	OK	OK

Obs.: Bloco com função Estrutural Absorção Individual $\leq 10,0\%$ e Absorção Média $\leq 8,0\%$.

Fonte: autores.

Conforme observado acima, todos os blocos analisados apresentaram conformidade com a norma, sendo que os blocos de vedação tiveram taxas de absorção individual inferiores a 12 % e absorção média inferior a 10 % e os blocos estruturais tiveram taxas de absorção individual inferiores a 10 % e absorção média inferior a 8 %.

Resistência à compressão

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto de vedação e estrutural.

Tabela 7 – Resultados obtidos nos ensaio de compressão.

Nº	Bloco de Vedação	Bloco de Vedação	Bloco de Estrutural 12 MPa
	BLOCAÇO	COPEL	COPEL
	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Compressão (MPa)
1	6,27	12,24	20,80
2	4,92	9,60	22,46
3	5,19	12,61	24,47
4	5,28	11,29	23,70
5	5,57	9,76	23,57
6	7,57	9,31	20,53
Média	5,80	10,80	22,59
f_{bk}	4,83	9,15	18,87
Conformidade	OK	OK	OK

Obs.: Blocos de Vedação $f_{bk} \geq 3,0$ MPa e Bloco Estrutural 12MPa $f_{bk} \geq 12,0$ MPa

Fonte: autores.

Após os ensaios realizados, pode-se observar que todos os blocos apresentaram conformidade com a norma, e onde os blocos de vedação apresentaram resistência à compressão superior a 3 MPa e o bloco estrutural de 12 MPa atingiu a resistência também superior a desejada. O ensaio de resistência à compressão foi realizado no sétimo dia após a produção do mesmo, devido aos fabricantes informar que a partir deste prazo já começam a comercializar o produto.

Por fim, foi observado que os blocos de vedação da empresa Blocaço atenderam às especificações nos ensaios de absorção de água e resistência à compressão, porém não apresentou conformidade no ensaio de análise dimensional. Sendo assim, os blocos produzidos por esta empresa podem causar dificuldades na execução da obra devido a variações encontradas nas alturas

culminando em uma dificuldade para atingir o alinhamento do pé direito, o que pode causar desde a perda de material até o acréscimo desnecessário da mão de obra.

Conclusões

Conclui-se que os blocos produzidos pela empresa COPEL atendem às exigências de qualidade, permitindo que a obra a ser executada não sofra nenhuma influência negativa pela qualidade do material. Já o bloco de vedação da empresa Blocaço que não apresentou conformidade com a norma, em relação a análise dimensional, pode causar alguma influência negativa na execução de uma obra devido a variação da altura dos blocos.

Devido ao método de produção de cada empresa, bem como os equipamentos utilizados na produção, nota-se que os blocos produzidos pela empresa COPEL, mesmo utilizando em sua produção um traço com uma quantidade de cimento cerca de 38 % menor que os blocos produzidos pela empresa Blocaço, apresentou melhores resultados nos ensaios normativos, devido ao seu processo de produção utilizar uma Vibro Prensa Hidráulica que tem maior força de compactação das peças, tendo no produto final peças mais densas do que as produzidas por uma Prensa Pneumática que foi utilizado pela empresa Blocaço.

Em relação às diferenças encontradas nos blocos de vedação das duas empresas analisadas, a mais evidente tem relação com o ensaio de resistência à compressão, onde os blocos produzidos pela Vibro Prensa Hidráulica apresentaram cerca de 90 % mais resistência do que os blocos feitos na Prensa Pneumática, mesmo utilizando 38 % menos cimento na sua confecção.

Por fim, segundo informações atuais de mercado, o processo de produção mais automatizado apresenta um bloco de concreto de alta qualidade a um preço de venda 10 % maior do que um bloco produzido por um processo mais manual. O bloco da empresa Blocaço é vendido por R\$ 1,70 a unidade e o bloco produzido pela empresa COPEL é vendido à R\$ 1,86 a unidade, valores estes praticados à época de execução do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12118 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural – Métodos de Ensaio*. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2014.

FERNANDES, I.D. *Blocos e Pavers – Produção e controle de qualidade*. 3. ed. Jaraguá do Sul: Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2012.

Dimensionamento de estruturas em concreto armado utilizando-se a NBR 6118 (2014)

Design of reinforced concrete structures using the NBR 6118 (2014) code

Felipe Rubens Deccini¹
Marcos José de Carvalho¹
André Luís Gamino²

RESUMO

Neste trabalho foram analisados parâmetros em serviço de estruturas de concreto armado condizentes com as prescrições da NBR 6118, nas suas versões 2007 e 2014. Para tanto, foi utilizado o *software* comercial denominado CAD/TQS como ferramenta de simulação das estruturas. O foco do trabalho está centrado na melhoria do módulo de elasticidade longitudinal do concreto, aplicado em lajes armadas em duas direções, por meio da aderência agregado/matriz pertinente à nova versão da citada norma. Os reflexos do aumento da rigidez à flexão e diminuição da flecha diferida são mostrados ao longo do trabalho.

Palavras-Chave: Lajes em Concreto Armado; ABNT NBR 6118 (2014); ABNT NBR 6118 (2007); Flecha Diferida; *Software* CAD/TQS.

ABSTRACT

In this study we analyzed parameters in service of reinforced concrete structures in accordance with the requirements of NBR 6118, in versions 2007 and 2014. For this, we used the commercial software called CAD / TQS as structures simulation tool. The focus of the work is focused on the improvement of the longitudinal elastic modulus of concrete, applied to reinforced slabs in two directions, through the added aggregate/ matrix cement relevant to the new version of this code. The

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

consequences of increased flexural stiffness and decreased deferred displacement are shown throughout the work.

Key words: Reinforced Concrete; ABNT NBR 6118 (2014); ABNT NBR 6118 (2007); Displacement; CAD / TQS.

Introdução

O concreto armado é um processo construtivo inventado na Europa em meados do século XIX. Ele consiste na combinação de uma pasta feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água. A novidade que fora desenvolvida na época, foi a implantação do aço nas estruturas, união que trouxe o ganho da resistência à tração do aço. Com a resistência a compressão do concreto, essa combinação permitiu que as peças de concreto conseguissem alcançar grandes vãos e atingir alturas consideráveis. Além disso, o concreto é um material plástico e moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos.

As estruturas de concreto armado se caracterizam por serem as partes resistentes de uma construção, são essas que absorvem e transmitem os esforços, sendo essenciais para a manutenção da segurança e solidez de uma edificação. Uma estrutura é formada por elementos estruturais que combinados dão origem aos sistemas estruturais que têm a finalidade de receber e transmitir as ações sofridas para as fundações de forma que essa reaja com mesma força e garanta a estabilidade.

A execução de uma construção, seja ela de pequeno ou grande porte, implica obrigatoriamente na construção de uma estrutura suporte, dessa forma a estrutura em uma construção tem a finalidade de assegurar a forma espacial e arquitetônica idealizada garantindo integridade à edificação.

O projeto estrutural vem de acordo com todos esses fatores, e é através dele que se obtém um dimensionamento inteligente no qual é possível aproveitar o máximo da capacidade resistiva dos materiais, sem deformação ou vibrações que ultrapassem os limites precisamente definidos pela NBR 6118 (2014).

Várias obras do dia-a-dia apresentam patologias devido aos erros de dimensionamento do projeto estrutural. Observa-se na Figura 1, uma viga sofrendo com deslocamento excessivo, ocasionando perda do cobrimento mínimo e exposição das armaduras a intemperismo, onde, com o passar do tempo, ocorrerá corrosão e perda do material.



Figura 1 – Viga do edifício imperador, na cidade de Balneário Camboriú. Fonte: Diarinho, 2015.

As principais etapas de um projeto estrutural são a criação do esquema estrutural, definição das cargas que atuam na estrutura, o cálculo dos esforços e deformações, dimensionamento dos elementos, detalhamento e criação das plantas.

Essas etapas, além de tudo, proporcionam segurança/economia a obra. Um projeto com bom dimensionamento, bem executado e com devidas intervenções programadas, garantem que a edificação atinja o mínimo de vida útil de 50 anos ($VU \geq 50$) segundo NBR 15575-1 (2013).

Revisão bibliográfica

ABNT NBR 6118 (2014)

A nova norma apresentou mudanças que influenciaram em vários parâmetros de estado limite serviço (ELS). As principais revisões que serão salientadas neste presente artigo são:

- Módulo de deformação tangencial (E_{ci});
- Módulo de deformação secante (E_{cs});
- Cobrimento interno mínimo.

No conteúdo da norma NBR 6118 (2007), o módulo de deformação tangencial era utilizado para todas as classes de concreto. Nessa não era levado em conta o tipo de brita utilizado. Já com a revisão, esse módulo passou a ganhar um novo parâmetro, que leva em conta a escolha da brita utilizada no concreto, para tanto ocorre um aumento no módulo de elasticidade por meio da aderência agregado/matriz se utilizado basalto como agregado graúdo. Por fim, os estudos dessa revisão trouxeram parâmetros específicos para concretos de classes de 55 até 90MPa, não encontrados na antiga norma.

O módulo de deformação secante, utilizado para análise elástica do concreto, ou seja, análise em ELS, também sofreu alteração em relação à revisão de 2007. Essa mudança mostra com maior precisão a não linearidade física do material, pelo fato de levar em consideração o tipo de concreto utilizado, onde concretos com maior resistência possuem praticamente uma curva tensão x deformação linear.

Os cobrimentos internos mínimos foram modificados, utilizava-se 1,5cm para as lajes internas de um projeto. Atualmente, o mínimo para classe de agressividade I é 2,0cm.

As revisões da norma de concreto podem ser observadas com maior clareza na Tabela 1:

Tabela 1 – Principais mudanças da versão de 2014 da NBR 6118.

Revisões Enunciados	NBR 6118 (2007)	NBR 6118 (2014)	
Módulo de Deformação Tangencial (E_{ci})	$E_{ci} = 5600 * \sqrt{f_{ck}}$ (MPa)	$E_{ci} = \alpha_e * 5600 * \sqrt{f_{ck}}$	De 20 até 50 MPa
		$E_{ci} = 21,5 \times 10^3 \times \alpha_e \times \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3}$	De 55 até 90 MPa
Módulo de Deformação Secante (E_{cs})	$E_{cs} = 0,85 * E_{ci}$ (MPa)	$E_{cs} = \alpha_i * E_{ci}$; $\alpha_i = (0,8 + 0,2 * \frac{f_{ck}}{80})$ (MPa)	
Cobrimento Interno Mínimo	1,5 cm	2,0 cm	

Fonte: NBR 6118 (2014).

Software Estrutural

A utilização de programas computacionais atualmente pode-se dizer que é indispensável para a engenharia de estruturas.

Este enorme avanço tecnológico teve e tem um papel importantíssimo na engenharia de estruturas, influenciando direta e significativamente na maneira como os projetos estruturais de edifícios em concreto são hoje elaborados. Atualmente, todas as etapas presentes neste processo, desde a definição dos dados, passando pela análise estrutural, dimensionamento e detalhamento dos elementos, até a impressão de desenhos, de alguma forma, são influenciadas pela rapidez e precisão que a informática proporciona (KIMURA, 2007).

O grande desafio dos sistemas computacionais é conseguir simular com exatidão o que realmente acontece nas estruturas. Para essa simulação se dá o nome de modelos estruturais. Esses modelos tentam simular com a maior precisão possível o que realmente acontece na vida útil da obra, as combinações de carga que podem atuar simultaneamente nesta, como flechas, flambagem, etc.

O *software* comercial CAD/TQS é uns dos programas computacionais mais completos no mercado de trabalho e o seu constante desenvolvimento ao longo dos anos ajudou os projetistas a terem mais rapidez e segurança na entrega dos projetos.

O primeiro modelo destinado ao cálculo de edifícios foi o de Métodos aproximados + Vigas contínuas, no qual é possível captar a continuidade dos momentos fletores e dessa forma a suspensão dos momentos positivos, o que possibilitou um dimensionamento mais econômico. Sua análise estrutural consiste no cálculo de esforços e flechas nas lajes a partir de tabelas baseadas em métodos aproximados, como de Czerny, Marcus e outros. Entretanto, esse método apresentava diversas limitações como: Elementos calculados de forma totalmente independente, não consideração dos esforços horizontais e outros.

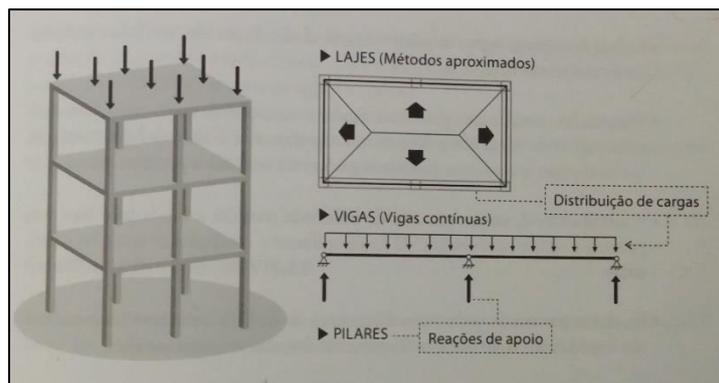


Figura 2 - Método aproximado + Vigas contínuas. Fonte: Kimura, 2007.

Devido a essas limitações e com o decorrer do tempo, evolui-se para o modelo de Grelha somente de vigas, direcionado para análise estrutural de um pavimento, no qual é levada em conta a interação entre todas as vigas presentes no mesmo. Dessa forma foi possível captar os momentos torçores atuantes e realizar um dimensionamento dos estribos mais realista através da combinação de esforço cortante + momento torçor. O modelo evoluiu para Grelha de lajes e vigas que considerava a interação entre todas as lajes e vigas de um pavimento de forma muito precisa, a transferência de cargas das lajes para as vigas se dava automaticamente de acordo com a rigidez das vigas, resultando em uma simulação mais próxima do real.

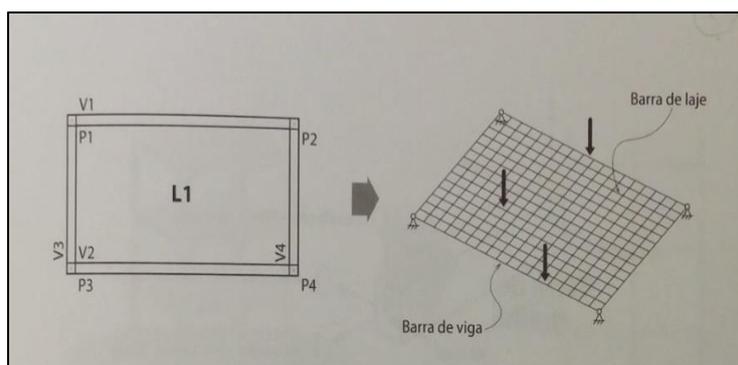


Figura 3 - Grelha de vigas e laje. Fonte: Kimura, 2007.

No caso dos pilares o primeiro modelo utilizado foi o de Vigas + Pilares (Pórtico H), um modelo bem simples, que na sequência evoluiu para o Modelo de Pórtico Plano direcionado para a análise do comportamento global de um edifício, admitindo tanto a aplicação de ações verticais como horizontais. Porém, limitado a

análise de apenas um plano da estrutura. Em seguida, surgiu o modelo de Pórtico espacial, modelo tridimensional composto por barras que representam todos os pilares e vigas de um edifício, admitindo aplicação simultânea de ações verticais e horizontais em todos os pontos da estrutura. Dessa forma leva-se em consideração os efeitos de segunda ordem causados pelas ações horizontais e possibilitando uma avaliação, dimensionamento eficiente e uma ótima análise do comportamento global do edifício.

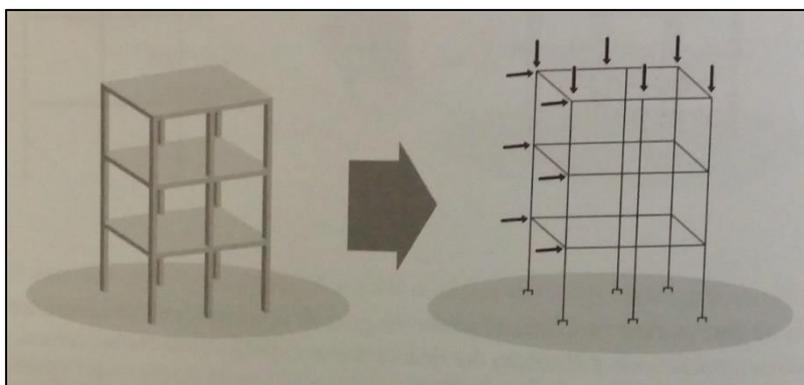


Figura 4 – Modelo de pórtico espacial. Fonte: Kimura, 2007.

O último, e considerado uma das melhores análises de modelo de cálculo, é o método dos elementos finitos. Com ele, uma estrutura é representada por um conjunto de elementos ou malhas que simulam as ações atuantes nesta. Existem elementos finitos lineares, bidimensionais e tridimensionais. No modelo de pórtico espacial, as vigas e pilares são representados por elementos finitos lineares (barras), já no modelo de grelha as lajes são representadas por elementos bidimensionais (placa).

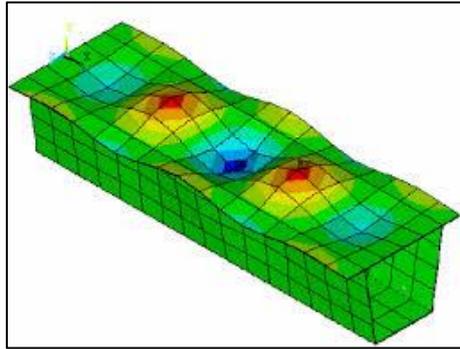


Figura 5 - Laje nervurada discretizada em malha estruturada pelo método dos elementos finitos. Fonte: Ensaproc, 2015.

Através desses avanços surgiu o modelo de cálculo IV, o qual discretiza a estrutura em um modelo de grelha de vigas e lajes para análise dos pavimentos e pórtico espacial para análise dos pilares e comportamento global.

Entretanto, alguns cálculos eram ainda simplificados com este modelo, principalmente o comportamento das lajes como contraventamento no edifício e problemas como a não captação de tensões de tração em lajes devido a existência de pilares inclinados. Com isto surgiu o modelo VI, o qual une todos os modelos em um, simulando a estrutura assim de forma monolítica (o que é uma característica das estruturas de concreto armado).

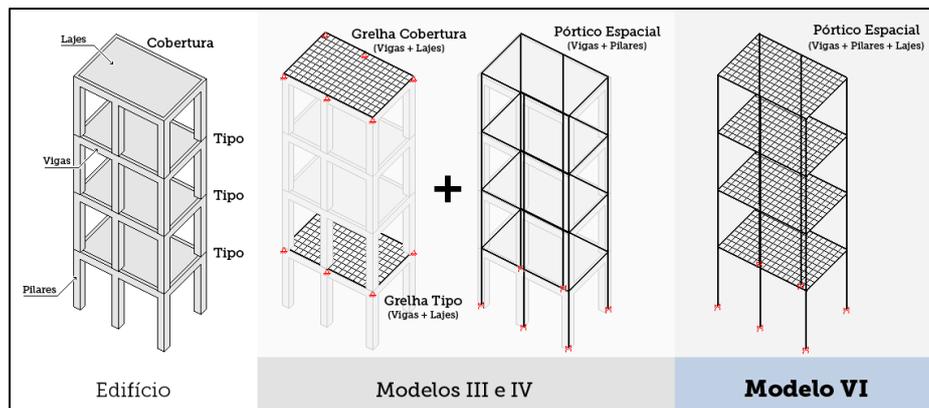


Figura 6 - Modelos utilizados pelo software de cálculo estrutural CAD/TQS. Fonte: Kimura, 2007.

Materiais e métodos

Para análise e posteriormente comparação dos resultados de flecha deferida e fissuração na laje de concreto armado entre nova e antiga norma foram utilizados os seguintes itens:

- Foi realizado o lançamento de um edifício comercial de 3 pavimentos para análise do estado limite de serviços das suas lajes de cobertura armada em duas direções. A verificação do ELS foi feita com base nas prescrições da antiga e nova norma de concreto a NBR 6118;
- O *software* CAD/TQS: Foi utilizado para realizar o lançamento do edifício. O sistema utiliza para dimensionar as estruturas de concreto armado o modelo integrado e flexibilizado de pórtico espacial (modelo IV), este subdivide-se em modelo de grelha e pórtico espacial, cuja grelha é utilizada na modelagem das lajes da edificação, com função de determinar esforços solicitantes, deslocamentos e geração de armaduras;
- Grelha não-linear (CAD/TQS): Para as lajes da cobertura analisada foi utilizado o modelo de grelha não-linear, semelhante ao de grelha-linear, porém leva em conta a não linearidade física do material, ou seja, a perda de rigidez, como por exemplo quando ocorre fissuração do concreto.

Desenvolvimento e Resultados

O edifício utilizado para o estudo pode ser observado na Figura 7. Os elementos analisados serão as lajes da cobertura. Os pilares e vigas serviram apenas de suporte para estas e não serão abordados no artigo.

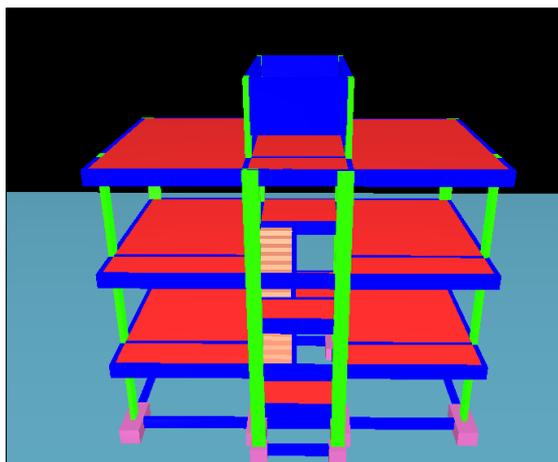


Figura 7 -Edifício comercial. Fonte: autores.

Os dados das lajes de cobertura podem ser observados na Tabela 2:

Tabela 2 – Dados das lajes analisadas.

Dados Específicos	Lajes			
	L1	L2	L3	L4
Dimensões (m)	3,85 x 6,00	2,55 x 4,85	3,85 x 6,00	2,55 x 1,15
Espessura (cm)	12			
Carregamentos (kg/m ²)	210			
f_{ck} do concreto (MPa)	25			
Modulo de elasticidade do aço CA-50 (MPa)	210.000			
Classe Agressividade	II			

Fonte: autores.

O resultado das flechas deferidas e fissuração das lajes da cobertura do edifício referentes a ABNT NBR 6118 (2007) podem ser vistas na Figura 8. Foi utilizada a combinação frequente para obter as fissuras e combinação quase permanente para os deslocamentos.

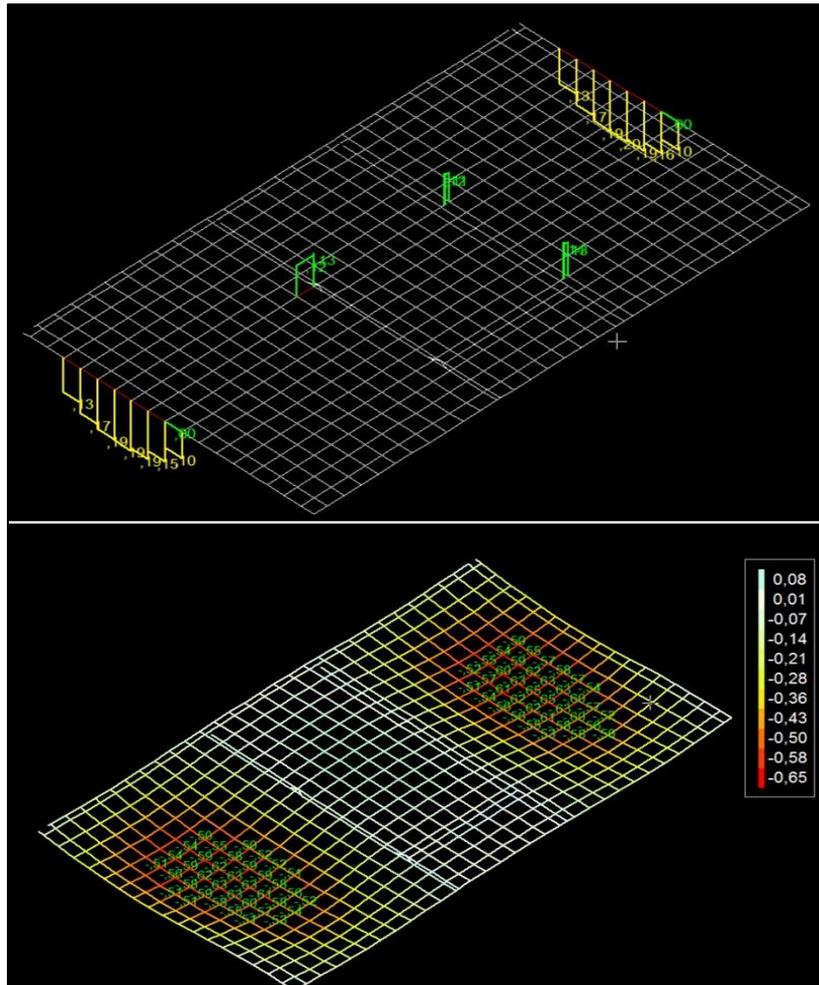


Figura 8 - Fissuração em “mm” e flechas deferidas em “cm”. Fonte: autores.

O resultado das flechas deferidas e fissuração das lajes da cobertura do edifício referentes a ABNT NBR 6118 (2014) podem ser vistas na Figura 9. Foi utilizada a combinação frequente para obter as fissuras e combinação quase permanente para os deslocamentos.

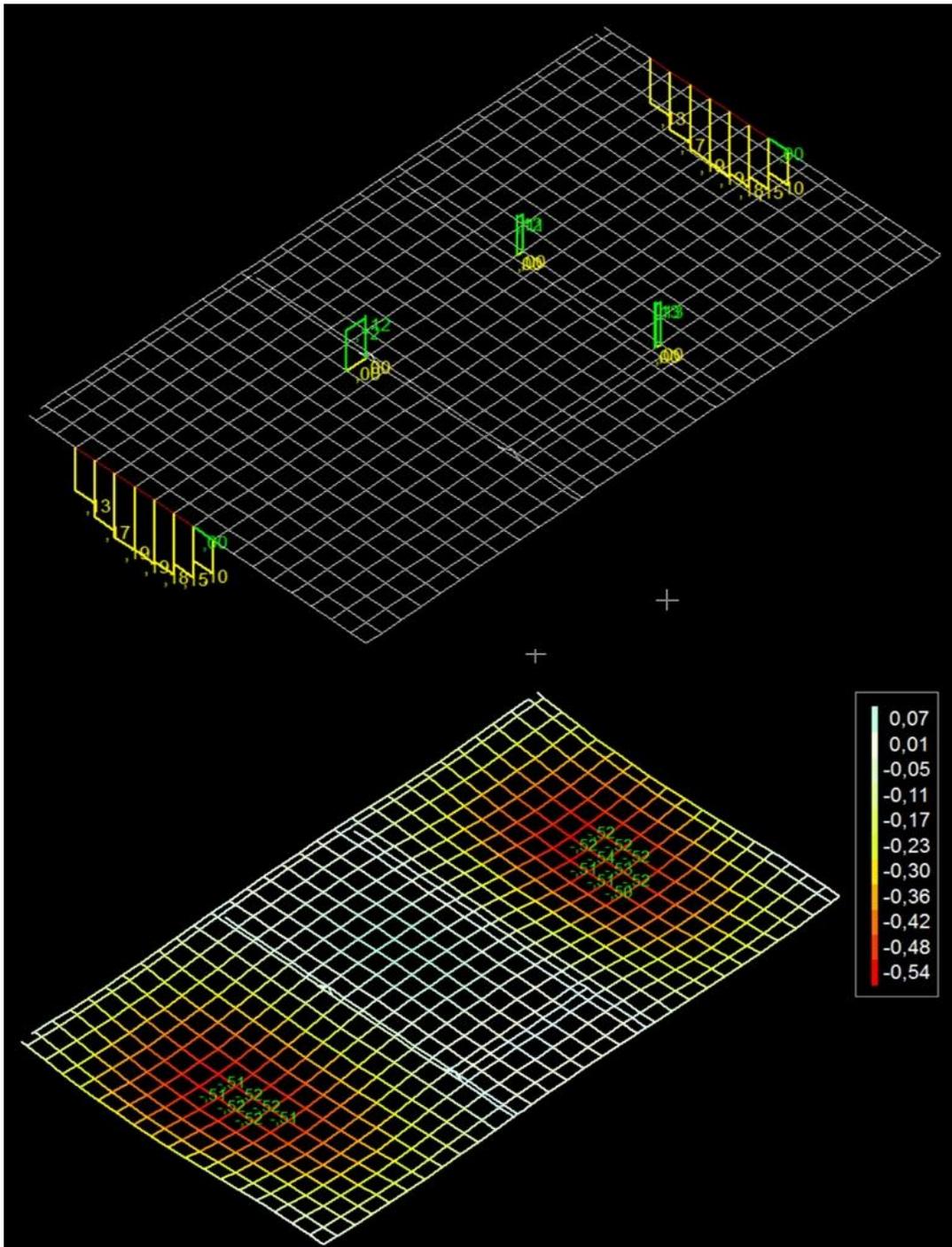


Figura 9 - Fissuração em “mm” e flechas deferidas em “cm”. Fonte: autores.

Conclusão

Neste estudo, o comportamento em serviço de uma cobertura em concreto armado de um edifício comercial foi avaliado através de um *software* estrutural. A performance frente flecha deferida e fissuração foram analisadas e comparadas pela nova e antiga norma de concreto armado. As conclusões obtidas são as seguintes:

- Devido a nova revisão da NBR 6118 que trouxe a consideração do tipo de agregado na formulação do módulo de elasticidade por meio da aderência agregado/matriz cimentícia, ocorreu uma diminuição nos deslocamentos das lajes;
- A variação da fissuração foi mínima, cerca de $\pm 0,02\text{mm}$, demonstrando que as mudanças ocorridas não tiveram efeitos para esse fator;
- A flecha deferida mostrou-se como o melhor resultado da pesquisa, variando de 0,65 cm para 0,54 cm após a revisão de 2014;
- Devido os resultados acima, foi concluído que com a revisão dos parâmetros da norma de concreto, principalmente quanto à rigidez do material, acarretará em uma maior facilidade de aprovação de projetos perante o quesito de flecha deferida, conseqüentemente as estruturas terão seus custos reduzidos e serão mais viáveis aos consumidores;
- O *software* é uma ótima ferramenta de auxílio para cálculo estruturais, mas vale sempre lembrar que necessita de um engenheiro qualificado para comandá-lo de forma adequada. A melhoria do módulo utilizando a brita basalto é um exemplo claro da importância dos conhecimentos do profissional em engenharia, pois esse fator não vem configurado como *default* do sistema devido à variedade das britas encontradas em todo Brasil. Esse parâmetro necessita ser modificado manualmente para uma análise qualificada da estrutura.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6120 (1980): Cargas para cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980. (Versão corrigida: 2000).

_____. *ABNT NBR 6123 (1988): Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988. (versão corrigida 2 de 2013).

_____. *ABNT NBR 6023 (2002): Informação e documentação - Referências - Elaboração*. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ABNT NBR 10520 (2002): Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação*. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ABNT NBR 6118 (2007): Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *ABNT NBR 15575-1 (2013): Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *ABNT NBR 6118 (2014): Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

BRESSAN, André Domingues. *Imperador pode ser interditado e desocupado*. Disponível em: <<http://www.diarinho.com.br>>. Acesso em 23 maio de 2015.

CAD/TQS *Sistemas: Software de cálculo estrutural. Versão 18.13.31 [S.I.]*: TQS Informática LTDA, 2015.

CARVALHO, R.C.; FILHO, J.R.F. *Cálculo de detalhamento de estruturas usuais de Concreto Armado*. 4. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

Ensaproc. *¿En qué consiste el Método de los Elementos Finitos y para qué sirve?* Disponível em: <<http://www.ensaproc.com>>. Acesso em 24 maio de 2015.

KIMURA, A. *Informática aplicada em estruturas de concreto armado*. 1. Ed. São Paulo: PINI, 2007.

Ensaio de ruptura do concreto reforçado com fibras em meios CAA-II aplicado em pisos industriais

Reinforced fiber concrete burst tests in CAA-II media used in industrial floors

Bruna Camila A. Portugal¹
Diego Teodoro Rebecchi¹
Tatiana A. S. Gonçalves Ferraz Leão¹
Wesley Dias¹
André Luís Gamino²

RESUMO

A utilização do concreto convencional na confecção de pisos industriais, tornou-se antiquada devido ao comportamento de material frágil frente às ações sofridas nesse tipo de aplicação ou principalmente quando solicitado por esforços de tração. Este trabalho pretende abordar a influência da adição de fibras de aço e polipropileno nos concretos utilizados na fabricação de pisos industriais. Tem como intuito apresentar comparativos com concreto reforçado com fibras de aço corrugada, ancorada e polipropileno, em comparação com um concreto de referência sem adição de fibras, através dos ensaios de compressão axial, diametral e tração na flexão. Para os ensaios realizados nas idades de 7 e 28 dias, o concreto reforçado com fibra de aço corrugada apresentou o melhor desempenho.

Palavras-chaves: Concreto reforçado com fibra; fibra de aço; fibra de polipropileno; pisos industriais.

ABSTRACT

The use of conventional concrete in the production of industrial flooring has become outdated due to their behavior in front of fragile material to the actions

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

suffered in this type of application or when prompted mainly by tensile stresses. This paper aims to address the influence of the addition of steel fibers and polypropylene in concrete used in the manufacture of industrial floors and has the intention to present comparative with reinforced concrete with corrugated steel fibers, anchored and polypropylene, compared with a reference concrete without fibers addition, through the axial compression tests, diametrical and traction in flexion. For tests performed at the ages of 7 and 28 days, reinforced concrete with corrugated steel fiber showed the best performance.

Keywords: fiber reinforced concrete; steel fiber; polypropylene fibers; industrial floors.

INTRODUÇÃO

O concreto é considerado o material mais utilizado na engenharia civil, mais especificamente na área da construção civil. Este material é basicamente resultado da mistura de água, cimento, pedra e areia, sendo esses últimos chamados de agregados graúdos e miúdos, e dentre suas diversas utilizações estão na construção de habitações, pontes, escolas, estradas, barragens, edifícios entre outras (Neville, 1997).

O baixo custo, a capacidade de se adequar a inúmeras condições de produção e a infinita possibilidade de variações de formas para as peças moldadas são as principais razões pelas quais o concreto convencional se tornou o material mais utilizado na construção civil brasileira.

Segundo Mehta; Monteiro (2008), a macroestrutura do concreto é basicamente composta por uma pasta (água mais cimento) que tem como principal função envolver os agregados preenchendo os vazios formados, dando ao concreto possibilidades de melhor manuseio, conferindo impermeabilidade, resistência aos esforços mecânicos e durabilidade; e agregados (graúdo e miúdo) que contribuem com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e a ação de intempéries, além de proporcionar uma redução no custo desse concreto.

No entanto, o concreto apresenta também algumas características de material frágil, suscetível à fissuração, ruptura e deformações elásticas e inelásticas principalmente quando solicitado por esforços de tração no estado endurecido. No estado plástico é suscetível a deformações de retração na secagem ou resfriamento, ou seja, contração térmica. Sendo assim, a busca pelo seu aperfeiçoamento e melhoria do concreto é constante e por isso, possibilitou-se adicionar fibras na matriz de concreto de modo a corrigir tais deficiências.

Pode-se associar a reduzida capacidade de resistência a tração do concreto à sua grande dificuldade de interromper a propagação das fissuras quando é submetido a tensões de tração (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Uma vez fissurado, o concreto simples perde completamente a capacidade de resistir aos esforços de tração e, por essa razão, surgiram alternativas tecnológicas, como o concreto armado, onde estas limitações são compensadas pelo reforço de barras de aço. Mais recentemente surgiu uma nova possibilidade de reforço do concreto através do uso de fibras (FIGUEIREDO, 2011).

Fibras

A fibra é um material fino, fibrilado e alongado e pode ser aproveitada para diversas finalidades, dependendo da sua origem e composição. Podem ser encontradas fibras naturais, artificiais e sintéticas.

De acordo com Tasca *et al.* (2010) e Figueiredo (2000), por possuir módulo de elasticidade alto, alta resistência à tração e ductilidade, as fibras de aço proporcionam o aumento da tenacidade nas estruturas de concreto, melhorando a resistência ao impacto, aumentando assim a durabilidade dessa estrutura. Já as fibras de polipropileno, que apresentam módulo de elasticidade baixo, são usadas em concretos e argamassas, com o objetivo de inibir o surgimento e a propagação de fissuras causadas pelos efeitos da retração plástica ou hidráulica do concreto ou argamassa.

As fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a dimensão da seção transversal. As fibras destinadas ao reforço do concreto são

atualmente chamadas de maneira genérica como macrofibras e podem ser de aço ou poliméricas (FIGUEIREDO, 2011).

Diferentemente da armadura convencional, que é localizada e necessita de prévia montagem, as fibras são misturadas diretamente ao concreto e distribuídas aleatoriamente, reduzindo tempo, mão de obra e custo de certas aplicações em relação ao processo tradicional (FIGUEIREDO, 2011).

Diversas pesquisas apontam que quando se incorpora fibras em misturas cimentícias ocorre uma melhoria significativa nas propriedades mecânicas do concreto como a tenacidade à flexão, o aumento da resistência à fadiga, ao impacto e redução de fissuras (FIGUEIREDO, 2000).

Vários estudos foram publicados sobre a investigação do comportamento de fibras em matrizes de concreto, com foco e objetivos diferenciados. Neste trabalho o apontamento foi relacionado ao melhor desempenho em termos de resistência mecânica para projetos de pisos industriais com baixos teores de fibras, menores que 1% do volume do concreto, sendo a quantidade utilizada de fibras de aço de 0,8 % e de fibras de polipropileno de 0,4 %.

Baseado nos estudos de Figueiredo (2000), o concreto reforçado com fibras, desde que num teor apropriado, deixa de apresentar características frágeis passando a ter um comportamento pseudodúctil ou não frágil, ou seja, no concreto simples a propagação das tensões de tração é interrompida pelo aparecimento de fissuras o que propicia uma concentração das tensões nas extremidades das mesmas, podendo ocorrer a ruptura brusca caso estas tensões superem a tensão crítica. Essa concentração de tensão é minimizada pela adição de fibras que agem como uma ponte de transferência de tensões pelas fissuras, sendo assim, apresentará um ganho quanto à tenacidade, ou seja, maior absorção de energia após a fissuração do material, conforme ilustrado na Figura 1.

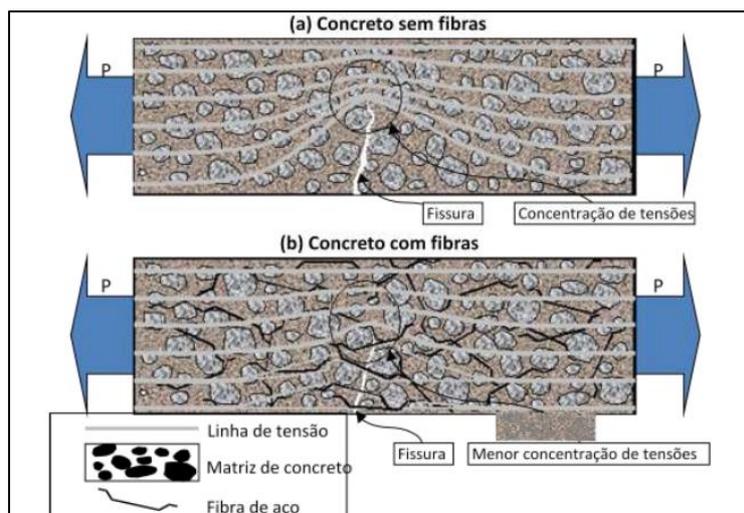


Figura 1 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras. Fonte: Figueiredo, 2011.

No caso específico de pisos industriais, a relação entre área e espessura da estrutura pode causar sérios problemas em sua fase endurecida como aparecimento de fissuras, desgaste por abrasão e fratura nas bordas devido aos diversos tipos de carregamentos que sofre ao longo de sua vida útil, além dos problemas por retração e variação térmica.

Quando essa matriz é reforçada com algum tipo de fibra várias propriedades são alteradas como a resistência à compressão, à tração e ao impacto, trabalhabilidade e diminuição considerada de fissuras. Outro ponto importante a ser destacado é a possibilidade da redução das taxas de armadura deste tipo de edificação, e conseqüentemente, um ganho econômico.

No Brasil, o uso de fibras para concreto começou a ser utilizado a partir da década de 1990 e várias pesquisas foram realizadas desde então para o aperfeiçoamento dessa tecnologia.

Pisos Industriais

Por muitos anos no Brasil, o dimensionamento e execução de pavimentos industriais foram baseados em critérios rudimentares o que resultava em pisos de concreto simples. Porém as diversidades de situações que são impostas aos pisos industriais geravam pavimentos com patologias, minimizando sua vida útil o que

resultava em perdas de operações e produtividade além de altas despesas com manutenção.

As ações, as quais os pisos de concreto são submetidos, podem ser classificadas como ações diretas e indiretas. As ações diretas são forças que são impostas diretamente na estrutura de concreto no estado endurecido e pode ser subdividida em 03 tipos de carregamentos:

- carregamentos móveis - o tráfego de veículos;
- carregamentos uniformemente distribuídos – maquinários e materiais estocados apoiados sobre o piso por meio de uma área de contato que condiz com a projeção do carregamento; e
- carregamentos de montantes - prateleiras que geram cargas pontuais que pela pequena distância suas cargas se influenciam.

As ações indiretas são causadas pela deformação do concreto no estado plástico podendo ser, por retração, que se trata da redução de dimensões devido à perda de água do concreto e está diretamente associada ao aparecimento de fissuras; por dilatação térmica que se trata de uma variação de volume causada por variação de temperatura; ou por empenamento que se refere a uma alteração na forma das placas de concreto.

Além dos carregamentos, outro fator importante é o solo que apresenta diferentes geomorfologias e, por consequência, comportamentos distintos, o que também pode favorecer a aparição de patologias, ocasionando uma diminuição da vida útil do pavimento.

MATERIAIS

Relacionam-se abaixo os métodos e materiais utilizados na definição do traço, confecção dos corpos de prova, bem como, dos ensaios realizados. Segue descrição dos materiais comuns a todos os traços.

Dentre os materiais empregados, utilizou-se, também, água proveniente do abastecimento local.

Cimento

O cimento utilizado nos ensaios foi do tipo CP V – ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial, da marca Nacional, regulamentado pela NBR 5733 (1991) - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita 1 de 19 mm, normatizado pela NBR 7809 (2006), de origem basáltica proveniente de uma pedreira localizada na cidade de Araçatuba/SP.

Agregado miúdo

A norma brasileira que regulamenta a granulometria dos agregados é a NBR 7211 (2009).

Neste projeto, foi utilizada a areia média, oriunda do porto de areia Tubarão localizado às margens do rio Tietê na cidade de Araçatuba/SP.

Fibra de aço corrugada e ancorada

A fibra de aço corrugada é produzida a partir do fio chato da sobra de lâ de aço, ou seja, a partir de sobras industriais. A utilização dessa fibra tem como principal objetivo melhorar a aderência da fibra com a matriz (concreto). As vantagens de se utilizar esta fibra são o baixo custo e a pouca ou nenhuma interferência na consistência do concreto. A fibra utilizada neste estudo foi a Fibramix MTC 40 da marca Matcon Supply.

A fibra de aço com ancoragem nas extremidades é produzida a partir de fios trefilados progressivamente e, posteriormente, cortados e dobrados. Sua função é reforçar o concreto podendo substituir parcialmente a armadura tradicional. Neste trabalho foram utilizadas as fibras Dramix da marca ArcelorMittal RL 45/50 BN, ambas regulamentadas pela NBR 15530 (2007).

Fibra de Polipropileno

Podem ser encontradas dois tipos de fibras de polipropileno os monofilamentos que são fios cortados em comprimento padrão. A fibra utilizada

no referente trabalho foi a Stick Lock Macrofibra sintética estrutural da marca Etruria.

METODOLOGIA E ENSAIOS

Com o intuito de analisar as propriedades modificadas proporcionadas pela fibra de aço e polipropileno ao concreto foi desenvolvido um traço de referência e a partir deste, adicionado um percentual do volume de fibra sendo 0,8% para as fibras de aço e 0,4% das fibras de polipropileno para que as propriedades mecânicas pudessem ser comparadas. O método utilizado na dosagem do concreto foi o I.N.T. (Instituto Nacional de Tecnologia). A resistência média do concreto à compressão f_{cm} , expressa em megapascais, está definida pela NBR 12655 (2015).

A partir do momento em que foi definida a dosagem do traço e os teores de fibra a serem empregados, partiu-se para o processo de execução no qual foi utilizado um betoneira para auxiliar na mistura. Para pisos industriais, recomenda-se um f_{cm} mínimo de 25 MPa com relação água/cimento menor que 0,55 e, portanto o traço obtido através do estudo de dosagem foi:

$$1 : 1,45 : 2,55 : 0,5$$

Sendo uma parte de cimento, para 1,45 parte de agregado miúdo, para 2,55 de agregado graúdo e 0,5 parte de água.

Para o traço acima, o consumo de materiais está representado na tabela I. O abatimento recomendado deve variar entre 100 mm e 150 mm. Neste estudo, o valor adotado para o concreto de referência foi de $120 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ com $f_{cm} = 30 \text{ MPa}$.

Tabela 1 – Dosagem dos materiais em kg/m^3 .

Material	Dosagem (kg/m^3)
Cimento CPV – ARI	429,76
Agregado Graúdo	1.095,90
Agregado miúdo	623,15
Água	214,90

Fonte: autores.

O traço utilizado foi o mesmo para as quatro situações e as nomenclaturas escolhidas foram:

- Traço CR – Concreto Referencial sem adição de fibras;
- Traço CRFA – Anc -> Concreto Reforçado com Fibras de Aço Ancorada;
- Traço CRFA – Cor -> Concreto Reforçado com Fibras de Aço Corrugada;
- Traço CRFP – Concreto Reforçado com Fibras de Polipropileno.

Para a determinação dos resultados deste trabalho, foram realizados ensaios com o concreto no estado fresco e no estado endurecido com todos os quatro traços.

Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone – *Slump Test*

Este ensaio foi realizado conforme a NBR NM 67 (1998) que especifica um método para determinar a consistência do concreto em estado fresco através da medida de seu assentamento.

Foi utilizado um molde de metal em formato de tronco de cone com dimensões internas:

- diâmetro da base inferior: 200 mm \pm 2 mm;
- diâmetro da base superior: 100 mm \pm 2 mm;
- altura: 300 mm \pm 2mm.

Também foi utilizada uma haste de compactação com 600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro além de uma placa base metálica, plana e quadrada com lados de 500 mm e espessura de 03 mm.

Depois de umedecido o molde e a placa de base, esta foi colocada sobre um calço de areia precisamente nivelada; durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o operador posicionou-se com os pés sobre suas aletas, para mantê-lo estável. Encheu-se o molde com o concreto, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado. Cada camada foi compactada com 25 golpes da haste de adensamento. Após o preenchimento total do molde, foi dado o acabamento final à superfície do concreto com uma desempenadeira. Em seguida, levantou-se cuidadosamente o molde de concreto e mediu-se o abatimento do concreto, determinando assim a diferença entre a altura

do molde e a altura do eixo do corpo de prova. Todo o ensaio foi realizado em um intervalo de 150 segundos, sem interrupções conforme descrito na NBR NM 67 (1998).

Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 5739 (2007), moldados em conformidade com a NBR 5738 (2015). Segundo a NBR 5739 (2007), para a execução do ensaio, deve ser determinado o diâmetro utilizado para o cálculo da área da seção transversal com exatidão de $\pm 0,1$ mm, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova. O mesmo foi feito sobre o eixo longitudinal com a mesma precisão, incluindo a retificação.

As faces dos pratos e dos corpos de prova devem ser limpas e secas, colocando-se em seguida o corpo de prova cuidadosamente centralizado em posição de ensaio, observando o sentido da moldagem, no prato inferior.

O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choque, com a velocidade de carregamento constante de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s de acordo com a NBR 5739 (2007). O carregamento só deve cessar quando houver uma queda na força aplicada que indique sua ruptura.

Para cada traço elaborado, neste ensaio, foram rompidos dois corpos de prova, com idades de 07 e 28 dias.

A Figura 2 mostra a máquina de ensaio universal utilizada para os ensaios de compressão axial e diametral.



Figura 2 – Máquina de ensaio à compressão diametral e axial. Fonte: autores.

Ensaio de flexão de corpos de prova prismáticos

Os corpos de prova para este tipo de ensaio foram moldados de acordo com a NBR 5738 (2015) e todo o ensaio foi executado em conformidade à NBR 12142 (2010).

Essa norma estabelece o método de ensaio de tração por flexão de corpos de prova de concreto, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão.

A máquina de ensaio deve ser equipada com um dispositivo de flexão que assegure a aplicação da força perpendicularmente às faces superior e inferior do corpo de prova, sem excentricidades, conforme ilustrado na figura 3.



Figura 3 – Ensaio de tração na flexão com corpo de prova prismático. Fonte: autores.

Nos procedimentos de execução dos ensaios descritos pela norma deve-se colocar o corpo de prova com seu lado maior, paralelo ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios, centrando-o entre eles. Caso não se obtenha um contato perfeito entre o corpo de prova e os apoios, polir as superfícies de contato do corpo de prova.

A força foi aplicada continuamente e sem choques, de forma que o aumento da tensão sobre o corpo de prova estivesse compreendido no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. A Figura 3 mostra os corpos de prova sendo ensaiados no laboratório.

RESULTADOS E ANÁLISES

Apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios especificados anteriormente, que são os resultados de abatimento de tronco de cone para o concreto no estado fresco e compressão axial, compressão diametral e de flexão para o concreto no estado endurecido. Dessa forma, pode-se comparar as resistências diferentes para os tipos de fibras utilizados nos ensaios verificando a eficiência ou não de cada fibra.

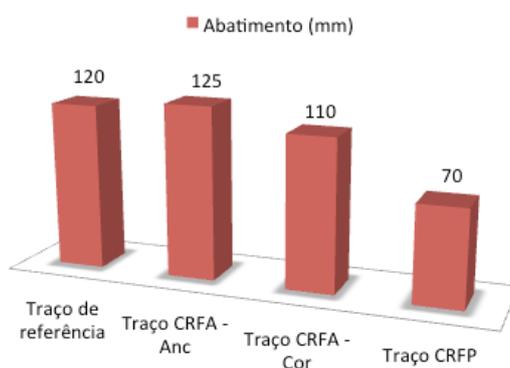
Concreto fresco

Já se comprovou que a adição de baixos teores de fibras altera pouco as condições de trabalhabilidade, mas sem necessariamente, reduzir a compactação do material. (CECCATO *et al.* 1997).

A partir dos resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone conclui-se que no CRFA – Anc e CRFA – Cor não houve alteração significativa no valor do abatimento, devido ao baixo teor de fibras incorporadas à matriz cimentícia, comprovando o que já era previsto: a não alteração da trabalhabilidade. As amostras CRFA apresentaram comportamento satisfatório, comprovando o que já era esperado segundo as literaturas e mostrado através do gráfico 1.

Foi verificado que o CRFP não atingiu o valor necessário para a aplicação em pisos industriais que deve apresentar variação entre 100 e 150 mm de abatimento e ao incorporar esta fibra à matriz verificou-se uma alteração na trabalhabilidade do concreto. O CRFP, no presente estudo, apresentou um resultado não esperado por não atingir o valor satisfatório de abatimento. Dessa forma, não é aconselhável a utilização deste teor de fibra para pisos industriais.

Gráfico 1 – Resultado dos ensaios de abatimento (Slump Test). Fonte: autores.



Concreto Endurecido

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios experimentais sobre o comportamento mecânico do concreto de referência (CR), do concreto reforçado com fibras de aço (CRFA – Anc. e Cor.) e do concreto reforçado com fibras de polipropileno (CRFP). A ideia de ensaiar corpos de prova sem adição de fibras, caracterizado pelo CR, é apresentar a comparação entre o CRFA Anc e Cor e CRFP, analisando os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão.

É importante conhecer as propriedades mecânicas dos materiais, uma vez que as fibras de polipropileno possuem boa resistência à tração e baixo módulo de elasticidade. Quando nas matrizes cimentícias são incorporadas fibras de polipropileno, a resistência ao impacto é melhorada. Quando comparado às outras de origem polimérica, o polipropileno possui um primoroso desempenho (GUIMARÃES, 2010).

Para a análise destes resultados, optou-se por gráficos onde o eixo vertical representa a tensão em MPa e o eixo horizontal contendo os diferentes tipos de fibras. A amostragem está demonstrada para 07 e 28 dias.

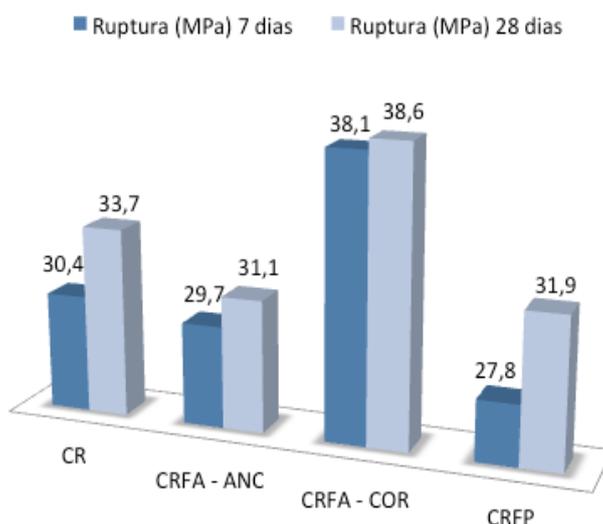
Determinação de Compressão Axial

A partir dos resultados obtidos no ensaio realizado aos 07 e 28 dias de idade, pode-se observar que ocorreu um ganho médio de resistência de 10,85% no CR entre as idades mencionadas; para o CRFA – Anc houve um ganho de resistência de 4,71%; o CRFA – Cor apresentou o pior resultados entre as diferentes idades sendo de 1,31% o aumento; e o CRFP mostrou o maior ganho percentual entre as diferentes idades, com 14,74%. Os principais fatores que justificam este comportamento estão relacionados com o volume de fibras utilizado no ensaio, a densidade dos materiais e o fator forma de cada fibra.

Em 28 dias, realizou-se um comparativo sobre o comportamento mecânico do concreto de referência com os demais traços e os resultados obtidos foram: CR com CRFA – Anc houve uma diminuição da resistência a compressão axial de

7,72%. O CR com CRFA – Cor houve um ganho de 14,54% e o CR com o CRFP houve uma perda de resistência de 5,34%. O Gráfico 2 ilustra esses resultados.

Gráfico 2 – Ensaio de Compressão Axial aos 07 e 28 dias. Fonte: autores.

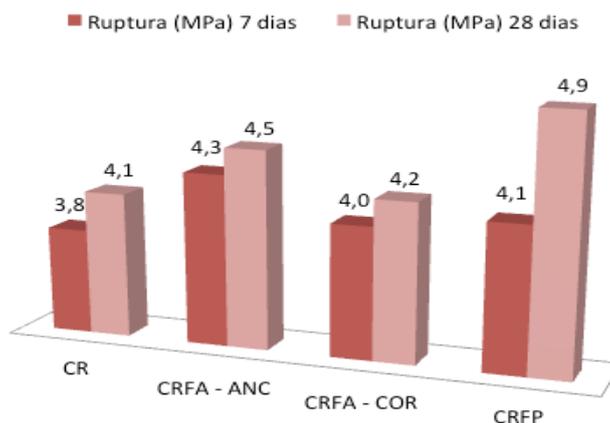


Entretanto, as literaturas afirmam que na maioria das vezes a resistência à compressão não é muito alterada com adição de fibras, podendo haver casos em que há um decréscimo no valor da resistência, como ocorrido no CRFA – Anc que apresentou um decréscimo na resistência à compressão. O fato disso ocorrer pode estar ligado a diversos fatores como a necessidade de um maior número de ensaio, a umidade relativa do ar no ambiente ou a umidade dos materiais secos no momento de execução do traço.

Ensaio de Compressão Diametral

O Gráfico 3 apresenta os resultados médios de resistência à tração por compressão diametral aos 07 e 28 dias.

Gráfico 3 – Ensaio de Compressão Diametral aos 07 e 28 dias. Fonte: autores.



Na verificação do acréscimo de resistência no ensaio de tração por compressão diametral, pode-se verificar que todas as amostras atingiram resultados satisfatórios, sendo que o melhor desempenho obtido foi no CRFP aos 28 dias de 19,51% em relação ao CR. Deve-se ressaltar que o uso das fibras de polipropileno para o aumento da resistência do compósito é o menos frequente e elas não competem com a armadura principal de barras de aço, que tem finalidade estrutural.

O estudo com fibras de polipropileno se torna importante devido aos benefícios que o baixo módulo de elasticidade dessa fibra pode proporcionar ao comportamento do compósito. Esse baixo módulo de elasticidade atua impedindo a propagação das fissuras junto à matriz cimentícia, que possui um pequeno módulo de elasticidade nas primeiras horas. Em elementos que tenham uma grande área superficial, nos quais problemas de retração por secagem ocorrem frequentemente, é interessante a aplicação das fibras de polipropileno. (GUIMARÃES, 2010).

Os resultados obtidos neste ensaio, inicialmente, foram comparados com as diferentes idades. O CR houve um ganho de 7,89% entre 07 e 28 dias. O CFRA – Anc aumentou 4,65% para as mesmas idades; o CRFA – Cor aumentou de 5,0% de 07 para 28 dias; já o CRFP apresentou o maior ganho de resistência mecânica em torno de 19,51% de 07 para 28 dias.

Na verificação do acréscimo de resistência no ensaio de tração por compressão diametral, pode-se verificar que, aos 28 dias o ganho médio de resistência do traço CR com CRFA – Anc foi de 9,76%; já para o traço CR com CRFA – Cor houve um aumento menor que os outros traços no valor de 2,44%. O CRFP apresentou o melhor desempenho em relação aos outros traços sendo um aumento de 19,51%, reafirmando o que a literatura previa.

Ensaio de tração na flexão

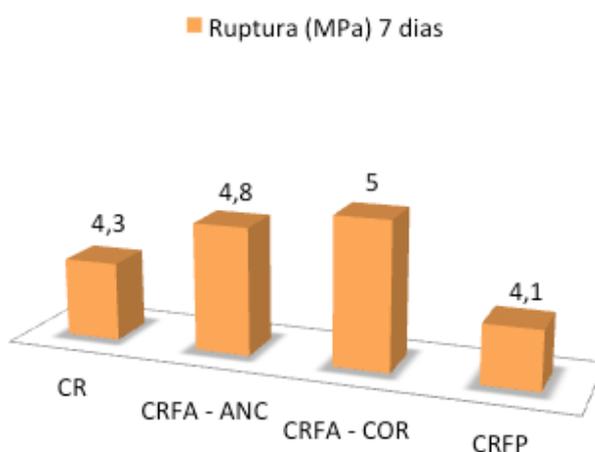
O ensaio de resistência à tração na flexão é considerado um ensaio mais complexo que os citados anteriormente, devido ao seu processo de execução e pela aparelhagem necessária. Mediante essa dificuldade foi possível apenas efetuá-los

com o concreto na idade de 7 dias, o que não prejudica a análise do presente trabalho, já que o cimento utilizado – CP V ARI – possui uma probabilidade de atingir a resistência mínima aos 7 dias de 97% segundo a NBR 5733 (1991).

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que o CRFA – Cor apresentou o melhor desempenho à tração com aumento de 16,28% em relação ao CR. O CRFA-Anc também apresentou excelente desempenho em relação ao CR. Isso ocorre devido à boa resistência mecânica à tração e ao elevado módulo de elasticidade que as fibras de aço possuem. Bentur e Mindess (2005) explicam que o aumento da resistência à flexão reflete sobre o volume de fibras incorporadas ao concreto.

A amostra de CRFP apresentou uma redução em relação ao CR de 4,65%, porém isto pode ter acontecido devido a amostragem ter sido feita em 7 dias, visto que nos outros ensaios, a fibra de polipropileno apresentou melhor desempenho, em percentual, com 28 dias. Por isso, não se pode afirmar, neste estudo, que ela não possui bom desempenho. O concreto com fibra de polipropileno apresenta o aumento na sua capacidade portante mesmo após o surgimento das primeiras fissuras, o que fica como sugestão de aprofundamento de estudo. O gráfico 4 ilustra os resultados do ensaio de tração na flexão.

Gráfico 4 – Ensaio de Tração por Flexão aos 07 dias. Fonte: autores.



Os gráficos 5 e 6 apresentam em porcentagem, os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, à compressão diametral e a tração na flexão em 7 dias e em 28 dias. Para este estudo, pode se afirmar que a fibra de aço corrugada

apresentou comportamento mais satisfatório entre as fibras estudadas, não mostrando nenhum resultado que já não fosse esperado pela literatura. Entretanto, para a fibra de polipropileno não se pode afirmar o mesmo. A dosagem ideal é totalmente empírica, e que talvez seja por isso que os resultados deste estudo não atingiram o resultado esperado.

Gráfico 5 – Ganho de resistência aos 28 dias (%).Fonte: autores

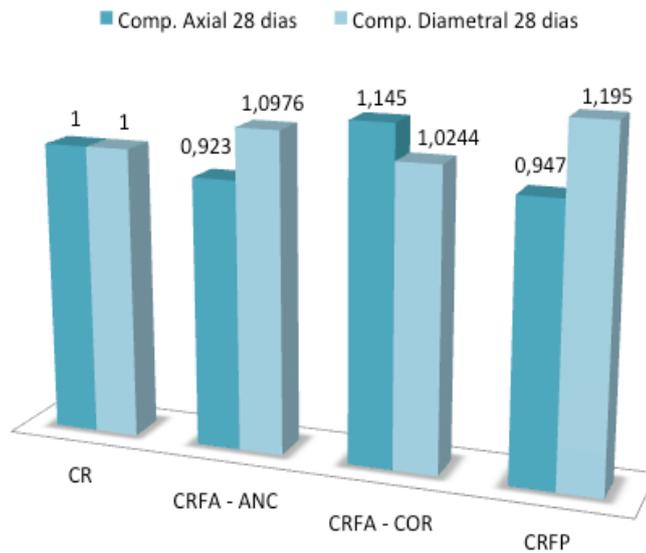
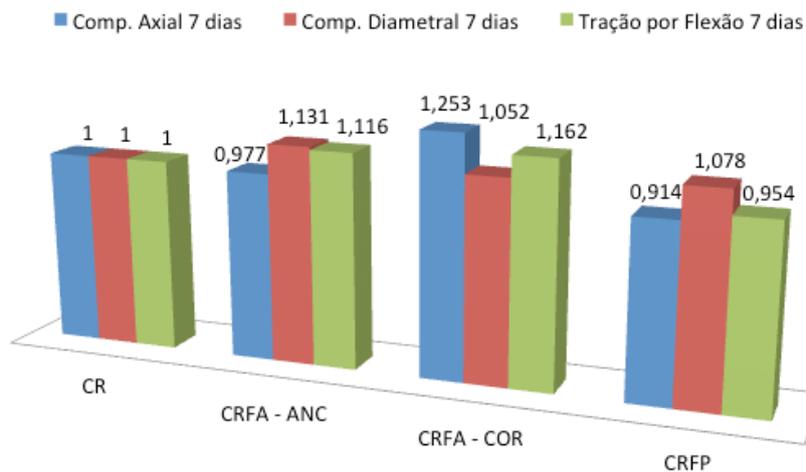


Gráfico 6 – Ganho de resistência aos 07 dias (%).Fonte: autores.



CONCLUSÕES

Em busca de aperfeiçoamento das técnicas de construção de pisos industriais, o uso de fibras vem associado à ideia de apresentar melhoras significativas a essas estruturas, entretanto existem diversas patologias relatadas através de estudos específicos.

Já se sabe que a adição das fibras no concreto é uma alternativa interessante, sendo que algumas características da matriz são melhoradas. Contudo, a adição de fibras na matriz cimentícia deve ser ministrada com cuidado, pois teores altos podem prejudicar seu desempenho devido ao acúmulo de ar aprisionado no interior do compósito e, desta maneira, funcionando como um concentrador de tensão.

Além do teor de fibra, a densidade dos materiais é um grande fator influenciador do comportamento do concreto. As fibras de aço possuem densidade de $7,85 \text{ g/cm}^3$ e a de polipropileno $0,91 \text{ g/cm}^3$, sendo assim, a quantidade de fibra por unidade de massa do aço é bem menor que a fibra polimérica. Por sua dispersão no concreto não ser homogênea, devido sua alta rigidez, acarreta uma maior dispersão dos resultados.

O comprimento e a seção transversal da fibra também influenciam o comportamento do concreto. Sendo assim, pesquisadores criaram o fator forma da fibra, um parâmetro adimensional que representa a relação geométrica obtida a partir da divisão do comprimento da fibra, não alongado, pelo diâmetro do círculo com área equivalente à de sua seção transversal, sendo um indicador da capacidade resistente pós-fissuração do concreto, pois quanto maior for o fator forma da fibra maior será sua capacidade de absorver energia na pós-fissuração.

Segundo Figueiredo fibras longas e curtas podem apresentar fator forma semelhante, porém as fibras mais longas têm maior comprimento embutido possibilitando maior capacidade de reforço para grandes níveis de abertura de fissura. Já as fibras mais curtas acabam por perder área de contato mais rapidamente como o aumento do deslocamento diminuindo a carga de arrancamento das fibras.

Os três tipos de fibras usados na pesquisa mostraram resultados interessantes e melhoraram as características do concreto em relação ao referencial. Entretanto, os teores de fibras utilizados em cada um dos traços pode ter sido o ponto determinante para estes resultados.

Neste estudo ficou caracterizado que os ensaios seriam realizados com volume abaixo do crítico (1%), ou seja, 0,8% para fibras de aço e 0,4% para fibra de polipropileno.

Na análise dos resultados, verificou-se que as fibras de polipropileno e de aço ancorada apresentaram características similares, ou seja, em comportamento mecânico não se diferenciam significativamente para os ensaios de compressão.

Não se pode deixar de citar também a deformação que os materiais sofrem ao serem submetidos às cargas. No aspecto da deformação, os materiais submetidos a esforços podem apresentar comportamento elástico que é aquela em que o material deformado retorna ao seu formato original, após a retirada da carga que o deformou, ou deformação plástica que é aquele em não ocorre o retorno do material. Há casos em que ocorre os dois comportamentos, sendo chamado de elasto-plástico.

A fibra de polipropileno é considerada de baixo módulo de elasticidade, tem a capacidade de reforço da matriz restrita às primeiras horas após a moldagem dos CPs, quando ainda apresenta baixa resistência e pequeno módulo de elasticidade. Esse reforço diminui à medida que ocorre o ganho de resistência e módulo por parte da matriz. Contudo, ela não serve como substituto de parte da armadura pois não é considerada estrutural. A fibra de baixo módulo de elasticidade permite um maior nível de abertura de fissuras do que uma fibra de alto módulo. Quando se utiliza maior teor de fibra ocorre maior resistência pós-fissuração por ser maior o número de ponte de transferência, porém interfere na trabalhabilidade gerando grande dificuldade para a moldagem dos CPs e controle da integridade física dos mesmos, na mobilidade do agregado e no índice de vazios.

Já as fibras de aço podem ser classificadas como fibras de alto módulo de elasticidade. Logo podem ser consideradas como fibras destinadas ao reforço primário do concreto, ou seja, não se destinam apenas controle de fissuração.

As fibras de aço corrugado tem por objetivo melhorar a aderência da fibra com a matriz, isso pode ser comprovado no melhor desempenho deste tipo de fibra, segundo os resultados obtidos nos ensaios. Já as fibras de aço ancoradas, quando utilizadas em baixos teores, sofrem um deslizamento assim que a carga é transferida para a mesma sendo que neste momento sua capacidade resistente é inferior à carga resistida pela matriz do compósito no momento de sua fissuração, a recuperação desta capacidade portanto ocorre quando a ancoragem, a partir das deformações que existem em suas extremidades, é mobilizada. Sendo assim a fibra de aço ancorada apresenta melhores condições de absorção de energia no momento pós-fissuração.

Nos ensaios realizados foi medido apenas o comportamento da matriz afetado pela fibra, ou seja, a contribuição efetiva da fibra só é medida a partir de ensaios que determinem a resistência residual pós-fissuração. Dessa forma, a análise deve ficar restrita a essa influência. Isso ocorreu por serem muito raros os laboratórios capacitados para realizarem uma boa caracterização do CRF no Brasil.

Para muitos autores, melhorias neste segmento só ocorrerão de modo pleno quando houver uma normatização eficaz e específico para pavimentos industriais com uso de fibras variadas.

Como sugestões de temas para complementar este estudo, inclui-se:

- Um estudo mais detalhado da dosagem do concreto para pisos industriais;
- análise da influência do fator forma das fibras nos concretos para pavimentos;
- Ensaios de tenacidade e resistência ao impacto;
- Análise do custo de se fabricar pavimentos industriais com fibras de aço, substituindo parcialmente as armaduras e
- A realização do ensaio Barcelona, que é bem mais simples do que os de flexão com deformação controlada, porque não exige sequer LVDTs (do inglês *Linear Variable Differential Transformer* ou Transformador Diferencial Variável Linear) que é um sensor para medição de deslocamento linear.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM67: *Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 5733: *Cimento Portland de alta resistência inicial*. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5738: *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: *Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6023: *Informação e Documentação – Referências – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 7211: *Agregado para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7809: *Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 12142: *Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 12655: *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 15530: *Fibras de aço para concreto – Especificações*. Rio de Janeiro, 2007.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CECCATO, Marcos Roberto; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de; NUNES, N. L. *Estudo do controle da trabalhabilidade do concreto reforçado com fibras de aço*. In. IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade - CONPAT 97. Porto Alegre, Brasil. 21 a 24 de Outubro de 1997. Volume II. Anais. p.539-46.

CRISTELLI, Rafael. *Pavimentos industriais de concreto – Análise do sistema construtivo*. 2010. 161f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2010.

DOBBIN JUNIOR, Eduardo Sydney; ROCHA, Luiz Felipe Serique. *Estudo de concreto com adição de fibra de polipropileno para controle de fissuração*. 2011. 114f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2011.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. *Concreto com fibras de aço*. 2000. 70f. ISSN 0103-9830 (BT/PCC/260) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____. *Concreto reforçado com fibras*. 2011. 248f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GUIMARÃES, Diego. *Pisos industriais em concreto: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos*. 2010. 90f. Trabalho de Diplomação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MASIERO Ivan Marassatto; FRANCO Bruno Luiz Marson. *Piso industrial de concreto reforçado com fibras de aço*. *Revista Técnica*. 163(18): 93-96, Out. 2010.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 4. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades do concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*. 2000. 246f. Dissertação (Título de Mestre em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEDROSO, Fábio Luís. *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*. *Revista Concreto e Construções*. 53: 14-19, Jan. 2009.

SALVADOR, Renan Pícolo; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. *Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço*. *Revista Matéria*. 18(2): 1273-1285, Jun. 2013.

SOTO IZQUIERDO, Indara. *Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural*. 2011. 146f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

Comparação do Comportamento de Estruturas de Concreto Dimensionadas segundo as normas NBR 6118 (2007) e NBR 6118 (2014)

Comparison of the behavior of concrete structures Scaled according to the norms NBR 6118 (2007) and NBR 6118 (2014)

Michel Zanini do Amaral¹
Valdir Cortez Júnior¹
André Luís Gamino²

RESUMO

O presente artigo apresenta uma análise entre a NBR 6118 (2007) e NBR 6118 (2014), ressaltando as mudanças entre os módulos de deformação secante do concreto, módulo de deformação tangente inicial do concreto e as flechas totais das respectivas normas. A comparação foi obtida através do dimensionamento e do detalhamento de lajes armadas em uma e duas direções, calculando manualmente com o intuito de obter uma maior sensibilidade e conhecimento científico por meio de normas técnicas e livros. Foram calculadas as flechas diferidas de acordo com as respectivas normas, quando ocorreu a diminuição das mesmas em razão das novas prescrições para o cálculo do módulo de elasticidade do concreto.

Palavras-chave: Cálculo Estrutural; Concreto Armado; Lajes.

ABSTRACT

This article provides an analysis between the NBR 6118 (2007) and NBR 6118 (2014), highlighting the changes between the modules of drying of concrete deformation, deformation initial tangent modules of concrete and the total arrows theirs. The comparison was obtained through the design and detailing of armed slabs in one and two directions, manually in order to obtain a greater sensitivity and scientific knowledge through technical standards and books. Deferred arrows were calculated according to the respective norms occurring to them because of

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

the new requirements for calculating the concrete elasticity modules were calculated.

Keywords: Structural Calculation; Reinforced Concrete; Slabs.

Introdução

O Dimensionamento e Detalhamento de Estruturas em Concreto Armado é a previsão do comportamento estrutural de tal forma que possa atender as condições de segurança, evitar o estado limite de serviço (ELS) e o estado limite último de utilização (ELU) para os quais foram determinados (GRAZIANO, 2005).

O concreto é o material estrutural mais utilizado no mundo pela construção, que pela sua própria composição se adapta a qualquer forma estrutural e é utilizado para inúmeras concepções arquitetônicas. O concreto é obtido através de uma mistura adequada de Cimento Portland, água, agregado miúdo e graúdo. É um material que apresenta como forte característica, alta resistência às tensões de compressão; porém, apresenta baixa resistência à tração em torno de 10 % da sua resistência à compressão (conforme a Figura 1).

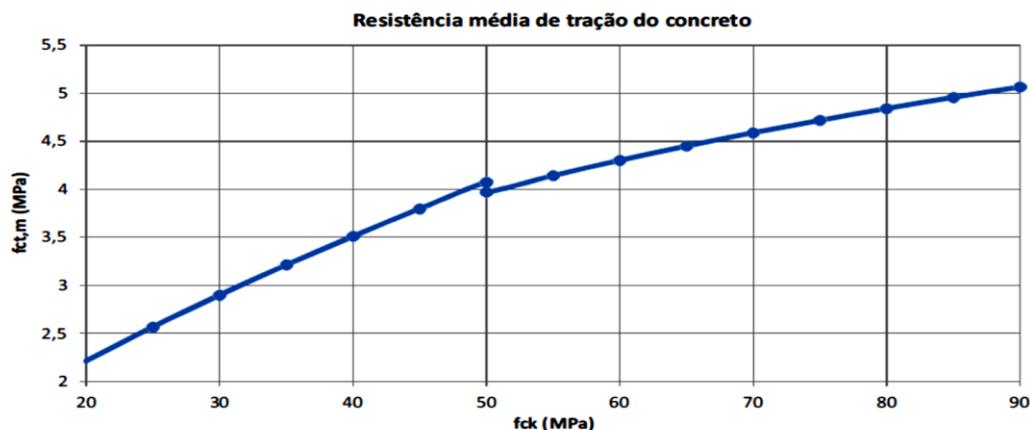


Figura 1: Diagrama Tração - compressão do concreto. Fonte: SANTOS (2014).

Com a baixa resistência à tração do concreto, proporciona o surgimento de fissuras dos elementos e o rompimento frágil na zona tracionada (GRAZIANO, 2005). Portanto, há necessidade de unir ao concreto outro material que apresente alta resistência à tração; a escolha do aço ocorreu em função da sua alta resistência e ambos apresentam um coeficiente de dilatação térmica similar.

No presente trabalho são abordados o dimensionamento e o detalhamento de lajes maciças, que são elementos planos, que se destinam a receber a maior parte das ações aplicadas em uma construção, como de pessoas, móveis, pisos e paredes. Os cálculos são determinados manualmente com o objetivo de mostrar algumas mudanças entre as normas NBR 6118 (2007) e NBR 6118 (2014) e indicar algumas alterações propostas pela nova versão. Esse conhecimento é de extrema importância na estrutura de uma edificação. Vale ressaltar o acidente do Palácio de Exposições da Gameleira (conforme Figura 2).

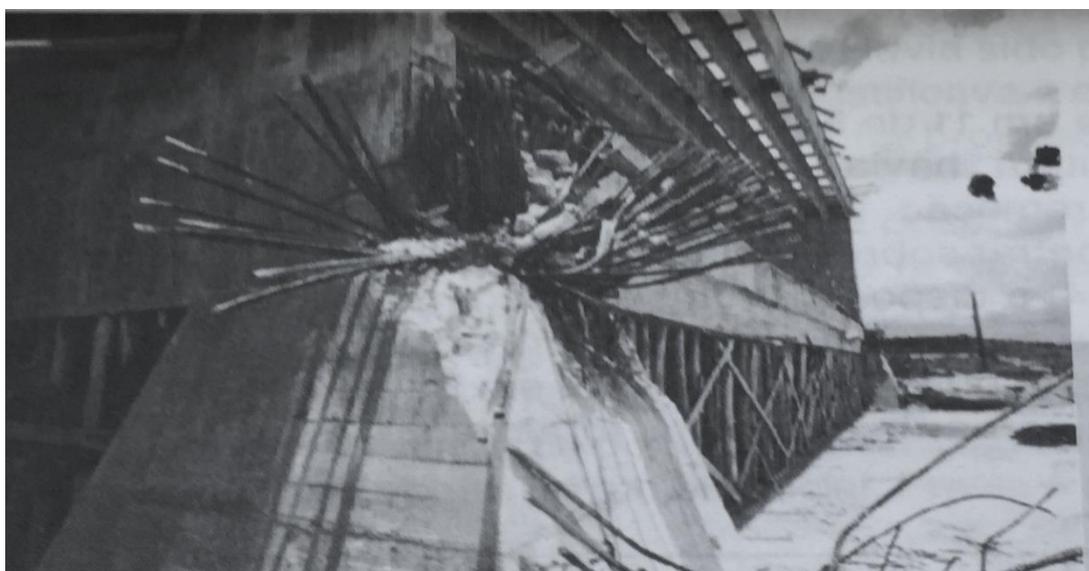


Figura 2 - Ilustração de um pilar sendo esmagado por falta de aderência entre o aço e o concreto. Fonte: CUNHA, LIMA, SOUZA, 1996.

O acidente foi um dos maiores desastres estruturais do Brasil causado por falha humana. Os engenheiros que executaram a obra não atenderam as exigências do engenheiro calculista referentes à resistência do projeto e da superestrutura, que ocasionou o desastre. O fato marcou a memória do Brasil, serve de aviso aos futuros engenheiros, a fim de zelarem pelos detalhes de qualquer construção, pois são essenciais para a segurança dos usuários da mesma.

Materiais e métodos

Foram calculadas e detalhadas manualmente, lajes de concreto armadas em

uma e duas direções. A partir da NBR 6118 (2014), em referência à tabela de classes de agressividades ambientais (CAA), foi escolhida a CAAI, com o risco de deterioração da estrutura insignificante. Obteve-se o limite de fissuração $ELS - W$ com teto estimado em $wk \leq 0,4\text{mm}$; a escolha da resistência à compressão característica do concreto foi de 30MPa. A espessura do elemento foi definida a partir de expressões de pré-dimensionamento e observação dos valores mínimos especificados pela normalização vigente. As ações permanentes e variáveis definidas a partir dos valores mínimos indicados pela NBR 6120 (1980); foram utilizadas as tabelas *czerny* para levantamento dos esforços solicitantes presentes nas lajes.

De acordo com os momentos fletores característicos, determinados via procedimento anterior, foram calculadas as alturas das linhas neutras e armaduras de flexão necessárias em (ELU); foram adotadas técnicas de alojamento e arranjo condizentes com as situações de lançamento e adensamento do concreto previsto em norma. Verificou-se a capacidade resistente ao cisalhamento das lajes por meio de um modelo de tirante previsto na normalização atual. A flecha foi determinada por meio da comparação entre o momento característico atuante (m_x) e o momento de fissuração (m_r), obtido para a seção transversal. Em seguida, os cálculos das flechas imediatas e diferidas (fluência) seguiram o padrão especificado por norma que difere da atuação dos Estádios I e II de deformação.

Resultado e discussões

Módulo de elasticidade segundo NBR 6118 (2007)

$$E_{ci} = 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \rightarrow E_{ci} = 5600 \cdot 30^{0,5} \rightarrow E_{ci} \cong 30672,46 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 30672,46 \rightarrow E_{cs} = 26071,59 \text{ MPa} \cong 26,071 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

Módulo de elasticidade segundo NBR 6118 (2014)

- Para concretos entre as classes C20 e C50.

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$$

- Para concretos entre as classes C55 e C90.

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3}$$

- Sendo a definição de α_E em função da rocha matriz utilizada na confecção do concreto.

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \rightarrow E_{ci} = 1,2 \cdot 5600 \cdot 30^{0,5} \rightarrow E_{ci} \cong 36806,95 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$E_{ci} = 36806,95 \text{ MPa} = 36,806 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

- $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio.
- $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse.
- $\alpha_E = 0,9$ para calcário.
- $\alpha_E = 0,7$ para arenito.

A determinação do módulo secante também sofreu alteração:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1 \rightarrow \alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{30}{80} \leq 1 \rightarrow \alpha_i = 0,875 \leq 1$$

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \rightarrow E_{cs} = 0,875 \cdot 36,80695 \cdot 10^6 \rightarrow E_{cs} \cong 32,206 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

Ocorreu a comparação dos módulos de elasticidade de acordo com as referidas normas, na qual a NBR 6118 (2014) considera o aumento do módulo de elasticidade, que pode sofrer variações conforme a classe de (f_{ck}) e a rocha matriz segundo as Equações 1 e 2.

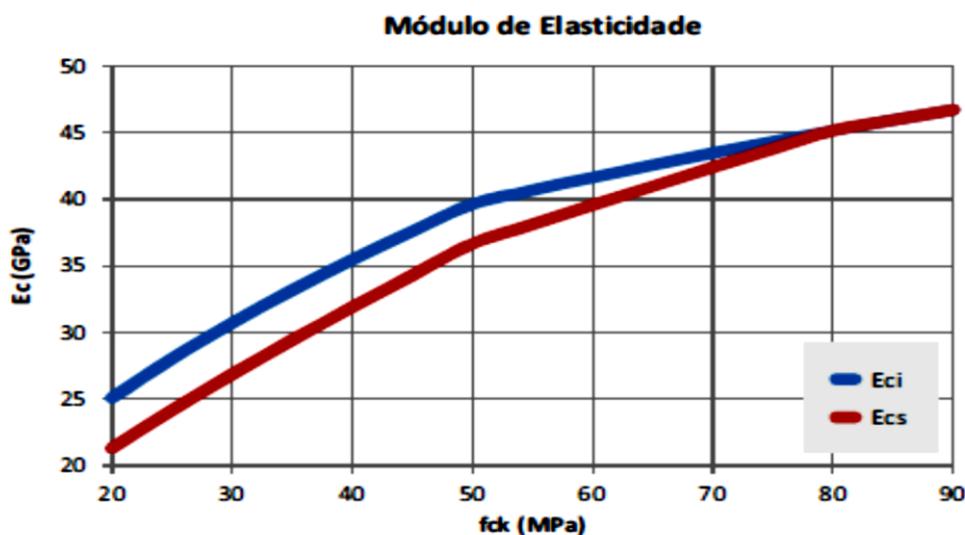


Figura 3 - Módulo de elasticidade tangente e secante do concreto. Fonte: SANTOS (2014).

Com o aumento da classe de resistência do concreto, ocorre-se a aproximação no digrama dos módulos secante e tangente, apresentados pela limitação de $\alpha_i = 1,0$, conforme a figura 3.

Determinação do momento de fissuração segundo NBR 6118 (2007)

$y_t = \frac{h}{2}$, correspondente à distância da fibra mais tracionada;

$\alpha = 1,5$ seção retangular

$$y_t = \frac{0,07}{2} \rightarrow y_t = 0,035 \text{ m}$$

- O momento de fissuração resulta em:

$$m_r = (\alpha \cdot f_{ct,m} \cdot I_c) / y_t \rightarrow m_r = (1,5 \cdot 2896,2858 \cdot 10^{-5}) / 0,035 \rightarrow \quad (3)$$

$$m_r \cong 3,55 \text{ kN. m/m}$$

$$m_x = 4,04 \text{ kN. m/m} > m_r = 3,55 \text{ kN. m/m}$$

$m_x > m_r$ (se faz necessário o cálculo da flecha em estágio II)

Determinação do momento de fissuração segundo NBR 6118 (2014)

$y_t = \frac{h}{2}$, correspondente à distância da fibra mais tracionada;

$\alpha = 1,5$ seção retangular

$$y_t = \frac{0,08}{2} \rightarrow y_t = 0,04 \text{ m}$$

- O momento de fissuração resulta em: (4)

$$m_r = (\alpha \cdot f_{ct,m} \cdot I_c) / y_t \rightarrow m_r = (1,5 \cdot 2896,427 \cdot 10^{-5}) / 0,04 \rightarrow$$

$$m_r \cong 4,64 \text{ kN. m/m}$$

$$m_x = 4,13 \text{ kN. m/m} < m_r = 4,64 \text{ kN. m/m}$$

$M_x < m_r$ (não se faz necessário o cálculo da flecha em estágio II)

A comparação entre o momento de fissuração do elemento estrutural (m_r) e o momento fletor (m_x), define o estágio no qual se encontram, conforme os critérios espessos pelas Equações 3 e 4.

Cálculo da rigidez equivalente no estágio II: segundo NBR 6118 (2007)

$$EI_{eq} = E_{cs} \cdot \left[\left(\frac{M_r}{M_x} \right)^3 \cdot I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_x} \right)^3 \right] \cdot I_{II} \right] \leq E_{cs} \cdot I_c$$

(5)

$$EI_{eq} = 26,07 \cdot 10^6 \cdot \left[\left(\frac{3,55}{4,04} \right)^3 \cdot 2,85 \cdot 10^{-5} + \left[1 - \left(\frac{3,55}{4,04} \right)^3 \right] \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \right] \leq$$

$$26,07 \cdot 10^6 \cdot 2,85 \cdot 10^{-5}$$

$$EI_{eq} \cong 535,96 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \leq 743 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \rightarrow \text{OK!}$$

Cálculo da rigidez equivalente no estádio I: segundo NBR 6118 (2014)

$$EI_{eq} = E_{cs} \cdot I_c \rightarrow EI_{eq} = 32,206 \cdot 10^6 \cdot 4,27 \cdot 10^{-5} \rightarrow EI_{eq} \cong 1375 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \quad (6)$$

Calculou-se a rigidez equivalente conforme as referidas normas, com o aumento da rigidez de acordo com NBR 6118 (2014) é possível considerar uma estrutura mais rígida segundo as Equações 5 e 6.

Verificação flecha Imediata segundo NBR 6118 (2007)

Da combinação quase permanente (CQP) tem-se: (7)

$$p = g + \Psi_2 \cdot q \rightarrow p = 6,75 + 0,6 \cdot 4 \rightarrow p \cong 9,15 \text{ kN/m}^2$$

$$a_i = (b \cdot p \cdot l_x^4) / 12 \cdot E_{i_{eq}} \cdot \alpha_2 \rightarrow a_i = (1,9 \cdot 15,2 \cdot 5,2^4) / 12 \cdot 535,96 \cdot 15,4 \rightarrow$$

$$a_i \cong 0,00372 \text{ m}$$

Verificação da flecha imediata segundo NBR 6118 (2014)

Da combinação quase permanente (CQP) tem-se: (8)

$$p = g + \Psi_2 \cdot q \rightarrow p = 7,0 + 0,6 \cdot 4 \rightarrow p = 9,40 \text{ kN/m}^2$$

$$a_i = (b \cdot p \cdot l_x^4) / 12 \cdot EI_{eq} \cdot \alpha_2 \rightarrow a_i = (1,9 \cdot 15,2 \cdot 5,2^4) / 12 \cdot 1375 \cdot 15,4 \rightarrow$$

$$a_i \cong 0,00149 \text{ m}$$

As flechas imediatas foram calculadas e comparadas de acordo com as referidas normas; obteve-se, segundo a NBR 6118 (2014) a sua diminuição pelo fato de possuir maior rigidez conforme as Equações 7 e 8.

Flecha diferida no tempo segundo NBR 6118 (2007)

Calculando o coeficiente de fluência:

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \rightarrow \begin{cases} \xi(t_0) = 0,68 \cdot (0,996^{t_0}) \cdot t_0^{0,32} \\ \xi(t_0) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \\ \xi(t) = 2 \end{cases} \quad (9)$$

$$\xi(t_0) = 0,6773$$

$$\Delta\xi = 2 - 0,6773 \rightarrow \Delta\xi = 1,3227$$

$$\rho = 0$$

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot \rho} \rightarrow \alpha_f = \frac{1,3227}{1 + 50 \cdot 0} \rightarrow \alpha_f = 1,3227$$

$$a_f = a_i \cdot \alpha_f \rightarrow a_f = 0,00372 \cdot 1,3227 \rightarrow a_f = 0,0049 \text{ m}$$

Flecha diferida no tempo segundo NBR 6118 (2014)

Calculando-se o coeficiente de fluência:

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \rightarrow \begin{cases} \xi(t_0) = 0,68 \cdot (0,996^{t_0}) \cdot t_0^{0,32} \\ \xi(t_0) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \\ \xi(t) = 2 \end{cases} \quad (10)$$

$$\xi(t_0) = 0,6773$$

$$\Delta\xi = 2 - 0,6773 \rightarrow \Delta\xi = 1,3227$$

$$\rho = 0$$

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot \rho} \rightarrow \alpha_f = \frac{1,3227}{1 + 50 \cdot 0} \rightarrow \alpha_f = 1,3227$$

$$a_f = a_i \cdot \alpha_f \rightarrow a_f = 0,00149 \cdot 1,3227 \rightarrow a_f \cong 0,001971 \text{ m}$$

Foram comparadas as flechas diferidas no tempo ou deformação lenta de acordo com as referidas normas; segundo a NBR 6118 (2014) ocorreu a sua diminuição pelo fato de possuir maior rigidez conforme as Equações 9 e 10.

Flecha total diferida segundo NBR 6118 (2007)

$$a_T = a_i \cdot (1 + \alpha_f) \leq \frac{l_x}{250} \rightarrow a_T = 0,00372 \cdot (1 + 1,3227) \leq \frac{2,52}{250} \quad (11)$$

$$a_T = 0,00864 \text{ m} < 0,010 \text{ m} \rightarrow \text{OK!}$$

Flecha total diferida segundo NBR 6118 (2014)

$$a_T = a_i \cdot (1 + \alpha_f) \leq \frac{l_x}{250} \rightarrow a_T = 0,00149 \cdot (1 + 1,3227) \leq \frac{2,52}{250} \quad (12)$$

$$a_T \cong 0,00346 \text{ m} < 0,010 \text{ m}$$

Foram comparadas as flechas totais de acordo com as referidas normas, segundo NBR 6118 (2014); ocorreu a sua diminuição pelo fato de possuir maior rigidez conforme as Equações 11 e 12.

Valor característico da abertura de fissuras segundo NBR 6118 (2007)

$$W_1 = \frac{\varphi_i}{12,5 \cdot \eta_b} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \leq W_{klim} \rightarrow \quad (13)$$

$$W_1 = \frac{6,3}{12,5 \cdot 2,25} \cdot \frac{44,35}{21000} \cdot \left(\frac{4}{0,0481} + 45 \right) \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow$$

$$W_1 \cong 0,061 \text{ mm} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$W_2 = \frac{\varphi_i}{12,5 \cdot \eta_b} \cdot 3 \cdot \frac{\sigma_{si}^2}{E_{si} \cdot f_{ctm}} \leq W_{klim} \rightarrow W_2 = \frac{6,3}{12,5 \cdot 2,25} \cdot 3 \cdot \frac{44,35^2}{21000 \cdot 0,29} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow$$

$$W_2 \cong 0,217 \text{ mm} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Valor característico da abertura de fissuras segundo NBR 6118 (2014)

$$W_1 = \frac{\varphi_i}{12,5 \cdot \eta_b} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \leq W_{klim} \rightarrow \quad (14)$$

$$W_1 = \frac{6,3}{12,5 \cdot 2,25} \cdot \frac{46,82}{21000} \cdot \left(\frac{4}{0,0393} + 45 \right) \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow$$

$$W_1 \cong 0,073 \text{ mm} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$W_2 = \frac{\varphi_i}{12,5 \cdot \eta_b} \cdot 3 \cdot \frac{\sigma_{si}^2}{E_{si} \cdot f_{ctm}} \leq W_{klim} \rightarrow W_2 = \frac{6,3}{12,5 \cdot 2,25} \cdot 3 \cdot \frac{46,82^2}{21000 \cdot 0,29} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow$$

$$W_2 = 0,242 \text{ mm} \leq 0,4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Com a alteração da altura mínima aumentou-se o peso próprio da laje, que contribuiu para o crescimento pouco significativo da abertura de fissura; por fim, manteve-se dentro do limite especificado pelas normas conforme as Equações 13 e 14.

Módulo de elasticidade segundo NBR 6118 (2007)

$$E_{ci} = 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \rightarrow E_{ci} = 5600 \cdot 30^{0,5} \rightarrow E_{ci} \cong 30672,46 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 30672,45 \rightarrow E_{cs} = 26071,59 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidade segundo NBR 6118 (2014)

- Para concretos entre as classes C20 e C50.
- Sendo a definição de α_E em função da rocha matriz utilizada na confecção do concreto.

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \rightarrow E_{ci} = 0,7 \cdot 5600 \cdot 30^{0,5} \rightarrow E_{ci} \cong 21471 \text{ MPa} \quad (16)$$

$$E_{ci} = 21471 \text{ MPa}$$

- $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio.
- $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaíse.
- $\alpha_E = 0,9$ para calcário.
- $\alpha_E = 0,7$ para arenito.
- $\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1 \rightarrow \alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{30}{80} \leq 1 \rightarrow \alpha_i = 0,875 \leq 1$
- $E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \rightarrow E_{cs} = 0,875 \cdot 21471 \rightarrow E_{cs} \cong 18787 \text{ MPa}$

Os módulos de elasticidade foram calculados de acordo com as referidas normas; com a escolha do arenito como rocha matriz, segundo a NBR 6118 (2014), obteve-se a minoração do módulo de elasticidade inicial do concreto em torno de 30%. E o módulo de elasticidade secante do concreto também sofreu redução em torno de 28%, segundo os cálculos efetuados de acordo com a NBR 6118 (2014). Com a redução do módulo de elasticidade, a estrutura fica menos rígida e os cálculos mais precisos conforme as Equações 15 e 16.

Tabela 1 - Dimensionamento da laje.

Dimensionamento da laje na direção X NBR 6118 (2007)								
Laje	Tabela	l_x (cm)	l_y (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	l_x/l_y	α_x	α_y	α_2
1	Tipo 1	268	320	2,143	1,2	16,9	22,3	15,4
Dimensionamento da laje na direção X NBR 6118 (2014)								
Laje	Tabela	l_x (cm)	l_y (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	l_x/l_y	α_x	α_y	α_2
1	Tipo 1	268	320	2,143	1,2	16,9	22,3	15,4

Fonte: autores.

Os resultados obtidos segundo a Tabela 1 apresentaram uniformidades entre as referidas normas, em razão da utilização da mesma resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) e das dimensões empregadas no dimensionamento.

Tabela 2 - Taxa de aço.

Taxa de aço NBR 6118 (2007)								
p (kN/m ²)	m_x (kN.m/m)	m_{dx} (kN.cm/m)	$h = l_x/40$ (cm)	m_r (kN.m/m)	ρ_{min} %	A_{sx} (cm ² /m)	A_{smin} (cm ² /m)	A_{sxef} (cm ² /m)
10,75	4,04	566	7	3,55	0,173	2,79	0,81	2,81
Taxa de aço NBR 6118 (2014)								
p (kN/m ²)	m_x (kN.m/m)	m_{dx} (kN.cm/m)	$h = l_x/40$ (cm)	m_r (kN.m/m)	ρ_{min} %	A_{sx} (cm ² /m)	A_{smin} (cm ² /m)	A_{sxef} (cm ² /m)
11	4,13	578	8	4,64	0,150	2,56	0,80	2,50

Fonte: autores.

Segundo NBR 6118 (2014), obteve-se o acréscimo do peso próprio (p), momento fletor característico (m_x), momento fletor de cálculo na direção x (m_{dx}) e o momento de fissuração (m_r), em razão da alteração da altura mínima, de acordo com a norma em vigor, conforme a Tabela 2.

Segundo análise entre as referidas normas de acordo com NBR 6118 (2014) obteve-se a diminuição da taxa de armadura (A_{sx}) e (A_{sxef}) em razão da passagem do estádio II para estádio I.

O (ρ_{min}) utilizado na obtenção da taxa de armadura mínima selecionada através da resistência característica à compressão do concreto, ocorreu alterações de 0,173% para 0,150% conforme Tabela 2.

Tabela 3 – Cisalhamento.

Cisalhamento NBR 6118 (2007)							
$f_{ct,m}$ (MPa)	$f_{ctk,inf}$ (MPa)	f_{ctd} (MPa)	τ_{Rd} (MPa)	V_{Rd1} (kN/m)	V_x (kN/m)	V_y (kN/m)	V_{sd} (kN/m)
2,89	2,023	1,445	0,36	39,75	7,92	6,78	11,09
Cisalhamento NBR 6118 (2014)							
$f_{ct,m}$	$f_{ctk,inf}$	f_{ctd}	τ_{Rd}	V_{Rd1}	V_x	V_y	V_{sd}

(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
2,89	2,023	1,445	0,36	42,27	8,10	6,94	11,34

Fonte: autores.

Ao comparar a resistência média à tração do concreto ($f_{ct,m}$), resistência característica inferior ($f_{ctk,inf}$), resistência de projeto à compressão do concreto (f_{ctd}), tensão de cisalhamento resistente de cálculo (τ_{Rd}), foram obtidos os mesmos resultados conforme a utilização da mesma resistência característica à compressão do concreto de acordo com a Tabela 3.

Com a determinação dos cálculos segundo a NBR 6118 (2014), estendeu-se o peso próprio, conseqüentemente as forças cortantes características (V_x), (V_y) e a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}), em virtude da alteração da altura mínima conforme Tabela 3.

Tabela 4 - Abertura de fissura.

Abertura de fissura NBR 6118 (2007)				
M_d (kN. m/m)	A_{cri} (cm ²)	ρ_{cri} %	σ_{si} (kN/cm ²)	W_1 (mm)
5,02	58,83	4,78	44,66	0,0610
Abertura de fissura NBR 6118 (2014)				
M_d (kN. m/m)	A_{cri} (cm ²)	ρ_{cri} %	σ_{si} (kN/cm ²)	W_1 (mm)
5,15	63,55	3,93	46,82	0,0730

Fonte: autores.

De acordo com os cálculos efetuados pela NBR 6118 (2014), obteve-se o acréscimo do momento fletor de cálculo (M_d) e a redução da taxa de aço que contribuíram para o aumento da tensão de tração no centro de gravidade da armadura (σ_{si}), conforme Tabela 4.

Aumentou-se a área da região de envolvimento (A_{cri}) em razão do aumento do cobrimento mínimo fixado em dois centímetros de acordo com NBR 6118 (2014). Por fim, ocorre o aumento da área protegida pela armadura conforme Tabela 4.

Com o aumento da área da região de envolvimento (A_{cri}) e a redução da taxa de aço (A_{sx}), obtém-se a redução da taxa de armadura passiva ou ativa aderente (ρ_{cri}) que contribuíram para o aumento da fissura conforme tabela IV.

Tabela 5 – Flechas.

Flecha NBR 6118 (2007)			
a_i (m)	$\Delta\xi$	a_f (m)	a_T (m)
0,00372	1,3227	0,0049	0,00864
Flecha NBR 6118 (2014)			
a_i (m)	$\Delta\xi$	a_f (m)	a_T (m)
0,00149	1,3227	0,00197	0,00346

Fonte: autores.

Segundo os cálculos efetuados de acordo com a NBR 6118 (2014), ocorreu a diminuição dos deslocamentos por razão do aumento da rigidez equivalente, conforme a Tabela 5.

Tabela 6- Resultados obtidos das taxas de aço segundo a NBR 6118 (2007).

Laje	peso (kg)	V_c (m ³)	Taxa (kg/m ³)
$L_1 - L_3$	254,68	2,784	91,48
L_2	60,18	0,6	100,30
L_4	74,14	0,917	80,85

Fonte: autores.

Tabela 7 - Resultados obtidos das taxas de aço de acordo com NBR 6118 (2014).

Laje	peso (kg)	V_c (m ³)	Taxa (kg/m ³)
$L_1 - L_3$	212,75	2,87	74,13
L_2	57,32	0,686	83,56
L_4	64,07	1,06	60,44

Fonte: autores.

Segundo análises entre as referidas normas, de acordo com a NBR 6118 (2014) foi obtida a diminuição do aço por volta de 14% em razão da mudança do estado II para o I, no qual o concreto não se encontra fisurado por tração, conforme as Tabelas 6 e 7.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a NBR 6118 (2014) está mais criteriosa referente à rigidez da estrutura; os módulos tangente e secante do concreto são calculados conforme as classes de (f_{ck}) e tipo de rocha matriz. Com tais critérios, os cálculos da estrutura ficam mais precisos e seguros (conforme as Equações 15 e 16).

Segundo os cálculos de acordo com a NBR 6118 (2007), o concreto dosado com o arenito ou basalto, os valores dos módulos tangente e secante seriam os

mesmos, desprezando a diferença de rugosidade entre ambas (conforme a Equação 1 e 15).

De acordo com os cálculos efetuados pela NBR 6118 (2014), com o concreto dosado com basalto como rocha matriz a estrutura tornou-se mais rígida, assim considera-se o basalto mais rugoso (conforme a Equação 2).

Com a ampliação da rigidez (conforme a Equação 2), é possível verificar a diminuição da flecha total de 8,64mm para 3,46mm, que não ultrapassa o limite especificado pelas normas (conforme as Equações 11 e 12).

Após a análise, observa-se a extrema importância do conhecimento teórico aplicado nas disciplinas da graduação, pois o Engenheiro Civil deve estar atualizado de acordo com as normas técnicas, já que um pequeno erro pode ocasionar um grande desastre.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação*. Rio de Janeiro, 2008.

CUNHA, A. J. P.; LIMA, N.A.; SOUZA, V.C.M. *Acidentes estruturais na construção civil*. São Paulo: PINI, 1996.

GRAZIANO, F. P. *Projeto e execução de estrutura de concreto armado*. O nome da Rosa: São Paulo, 2005.

SANTOS, S. H. C; *Concreto de alta resistência na NBR 6118:2014 - Concreto e Construções*. São Paulo: v.73, p.52-57, Jan-Mar. 2014.

Sistema construtivo de painéis pré-moldados: análise comparativa entre obra de alvenaria convencional e obra com utilização de painéis pré-moldados

Precast panels construction system: comparative analysis between conventional masonry construction site and precast panels site

Daniele Santos¹
Edesilton Santos¹
Mauro Afonso Teramussi Monzani¹
Rafael de Souza Táparo¹
Rafael Petroli¹
André Luís Gamino²

RESUMO

Vários sistemas construtivos alternativos à construção convencional vêm sendo implementados no Brasil nos últimos anos. O sistema *Premiere* de construção sustentável utiliza painéis pré-moldados para a construção de casas, sendo recomendado para casas seriadas (populares e de médio padrão), permite um canteiro de obras com controles maiores de qualidade (ambiente mais próximo de uma fábrica). Este artigo visa descrever todo o sistema, mostrar suas vantagens e desvantagens e realizar estudo comparativo com alvenaria convencional. Os dados foram coletados na empresa Tecol da cidade de Araçatuba – SP, executora dos bairros: Porto Real (convencional) e o Águas Claras (painéis pré-moldados). Os dados mostraram vantagens na utilização do sistema, apesar do lucro total da obra de painéis pré-moldados ser percentualmente menor. Espera-se que as próximas obras da empresa que utilizarão o sistema *Premiere* apresentem maior ganho pela troca do sistema construtivo, pois alguns ajustes já foram realizados.

Palavras-chave: painéis pré-moldados; construção sustentável; sistema *Premiere*.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

ABSTRACT

Several alternative to conventional building construction systems have been implemented in Brazil in recent years. The sustainable construction *Premiere* system uses precast panels for building houses and is recommended for serial houses (popular and standard medium), it allows a construction site with the highest quality controls (closer to a factory environment). This article aims to describe the whole system, show advantages and disadvantages and carry out a comparative study with conventional masonry. Data were collected in Tecol company from Araçatuba - SP who built this two neighborhoods: "Porto Real" (conventional) and "Aguas Claras" (precast panels). Data showed advantages in using the system, despite the total profit of the precast panels site be percentage smaller. It is expected that the next sites of the company that will use the *Premiere* system have a higher profit margin for changing the constructive system, as some adjustments have been made.

Keywords: precast panels; sustainable construction; *Premiere* system.

INTRODUÇÃO

A industrialização ocorre em diversos setores do país; mesmo em setores que oferecem maior resistência à industrialização como a Construção Civil, este avanço já pode ser observado (SOUSA, 2013).

Métodos construtivos que visam diminuir mão de obra, tempo de execução e menor manuseio de material são cada vez mais utilizados na construção civil. Neste sentido, as construções em pré-moldados são cada vez mais utilizadas (SOUSA, 2013).

Especialmente no caso das casas pré-moldadas, existem diversas empresas que oferecem este tipo de solução, empregando modelos bem diferentes (construções verticais ou horizontais, concreto armado puro ou com adição de

outros elementos, como esferas cerâmicas, por exemplo) (MANUAL PREMIERE, 2015).

A norma NBR 9062 (2006) define pré-moldado como elemento que é executado fora do local definitivo de utilização, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, sem a necessidade de pessoa, laboratório e instalações congêneres próprias. A mesma norma define pré-fabricado como elemento produzido fora do local definitivo da estrutura, em usinas ou instalações análogas que disponham de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade (IGLESIA, 2006).

O uso dos pré-moldados em edificações está amplamente relacionado a uma forma de construir econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade arquitetônica (SOUZA, 2013).

A indústria de pré-moldados está continuamente fazendo esforços para atender as demandas da sociedade, como por exemplo: economia, eficiência, desempenho técnico, segurança, condições favoráveis de trabalho e de sustentabilidade (SOUZA,2013).

O sistema de construção sustentável *Premiere* é um sistema construtivo integrado por painéis estruturais pré-moldados, com seção transversal mista (nervuras de concreto, vedação com blocos cerâmicos e revestimento interno e externo com argamassa) (Figura 1).



Figura 1 – Etapas do Sistema de Construção Sustentável *Premiere*. Fonte: autores.

Os painéis de paredes são moldados fora do seu local definitivo, em unidade de produção interna ou externa ao canteiro de obras. Esses painéis são dimensionados para as diversas fases do processo: execução na pista, desenforma e içamento, transporte e instalação. Tais painéis têm como material estrutural o concreto armado, e seus dimensionamentos estarão baseados em: NBR 6118 (2014) de concreto, NBR 9062 (2006) de pré-moldados, NBR 15575 (2013) de desempenho (MANUAL *PREMIERE*, 2015).

As aplicações do sistema de construção sustentável *Premiere* são: 1) conjuntos residenciais (populares e de classe média padrão de Minha Casa Minha Vida de 0 a 3 ou de 3 a 6 salários mínimos de faixa de renda); 2) residências de padrão médio-alto (desde que moduladas e com repetição de no mínimo 50 vezes para cada tamanho e tipo de painel); 3) resorts, hotéis e motéis (em suas áreas repetitivas); 4) projetos habitacionais especiais (que dependam de grande velocidade de execução, tais como: desfavelamento, precariedade e moradia de risco).

Como diferencial de outros sistemas semelhantes, a fabricação do “painel de alvenaria” inclui: alvenaria em tijolos cerâmicos, estrutura capaz de resistir inclusive aos esforços gerados no içamento e o revestimento nas duas faces na mesma etapa e ainda tubulação hidráulica e elétrica, permitindo que este painel esteja pronto para montagem no prazo de 30 horas (Figura 2). O resultado desta tecnologia com sustentabilidade ocasionada pela utilização de formas metálicas reutilizáveis, são possíveis aumento de produtividade da obra e redução de mão de obra qualificada, tais como: pedreiros, eletricitas, encanadores, ferreiros e carpinteiros (SITE *PREMIERE*, 2015).

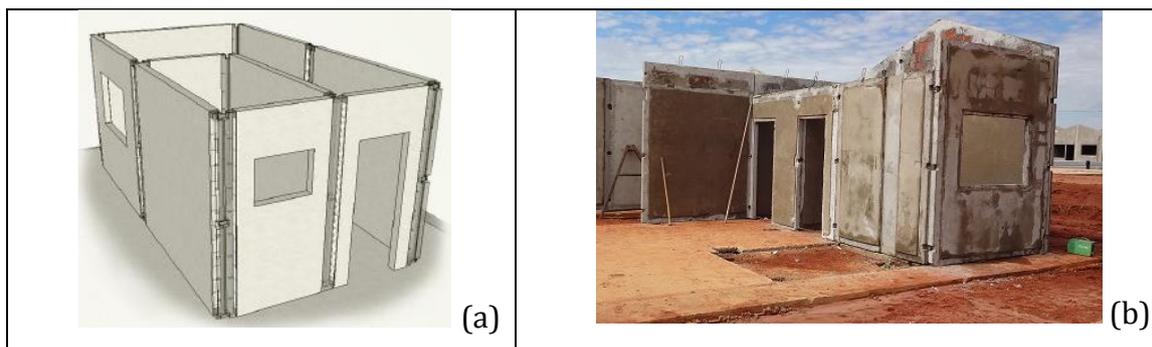


Figura 2 – Representação esquemática dos painéis soldados (a) e imagem real das juntas soldadas (b). Fonte: autores.

Segundo a empresa *Premiere*, as vantagens obtidas com a utilização deste sistema são: menor investimento total (a partir da segunda obra); redução do custo administrativo devido ao menor prazo de entrega; garantia de controle industrial da obra, com controle das patologias, permitindo rastrear desde sua origem; controle rígido de matérias primas em termos de qualidade e de produtividade; permite utilização de maior índice de mão de obra desqualificada (local); economicamente viável (mais unidades em menos tempo); utiliza materiais e formas conhecidas e aceitas em todas as regiões brasileiras (SITE *PREMIERE*, 2015).

Como desvantagens na utilização do sistema de construção sustentável *Premiere*, podemos citar: o alto investimento inicial (compra de caminhão *munck*, formas e concretagem de pista); necessidade de espaço dentro do canteiro ou mesmo fora para a pista de fabricação dos painéis; a fase de adaptação deste sistema dentro da construtora e sua primeira obra utilizando o sistema; a necessidade de se controlar itens não cotidianos de uma obra térrea (manutenção de caminhão *munck*, manutenção das formas, controle de enceramento da pista e de passagem de óleo diesel); utilização de mão de obra especializada não habitual em obras térreas (motoristas operador de *munck*, montadores e soldadores).

OBJETIVO

Descrever todo o método de utilização do sistema de construção sustentável *Premiere* (ANEXO I no Memorial Descritivo).

Realizar estudo comparativo entre alvenaria convencional e este sistema que utiliza painéis pré-moldados.

JUSTIFICATIVA

A demanda do mercado por prazos e preços de construção cada vez menores, mas que garantam alta qualidade, vem força a construção civil a buscar novos desafios e novas tecnologias. Os pré-moldados podem oferecer essa facilidade e rapidez na aplicação, com garantida de preços e prazos menores e, por isso, têm sido cada vez mais empregados em edifícios comerciais, industriais e residenciais.

A partir dos dados coletados, é possível demonstrar por meio de tabelas, quais são os ganhos através da mudança para construção com o Sistema *Premiere*.

SISTEMA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL *PREMIERE* E PROCEDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS

A descrição detalhada do sistema *Premiere*, bem como de todo o procedimento para a produção, encontra-se no ANEXO I no Memorial Descritivo.

O sistema de construção aborda os seguintes temas: Industrialização no canteiro; Controle de Qualidade; Ocorrência de desconformidade; Restrições de uso; Campo de aplicação; Partes que não fazem parte do sistema; Concepção estrutural; Caracterização das Matérias-Primas; Armaduras; Agregados; Blocos cerâmicos (Checagem das dimensões; Planicidade, espessura das paredes; Resistência à compressão); Produtos para tratamento de juntas; Concreto (Periodicidade de ensaios); Cimento; Argamassa para revestimentos (Composição; Ensaios de rotina).

Já os procedimentos para a produção dos painéis são divididos da seguinte maneira: limpeza da pista; montagem das formas; selagem da pista (selagem inicial; aplicação do desmoldante); aplicação da argamassa inferior; posicionamento da armadura; colocação dos blocos cerâmicos; instalação de dutos

elétricos e hidráulicos; lançamento do concreto; aplicação da argamassa superior; cura do painel; controle de produção; controle de içamento e transporte; controle de montagem.

COMPARATIVO DOS DADOS DE OBRA CONVENCIONAL X OBRA SISTEMA

PREMIERE

Levantamento dos dados

Todos os dados necessários para o desenvolvimento deste artigo foram coletados na empresa Tecol, em sua matriz na cidade de Araçatuba – São Paulo. Foram geradas quatro planilhas no Setor de Compras (uma planilha para cada uma das duas etapas de cada obra), uma planilha no Setor de RH (quantidade e função dos funcionários Tecol e o valor gasto mês a mês) e informações do valor pago em cada unidade.

Os dados coletados são referentes a dois bairros da cidade de Araçatuba construídos pela Tecol: o Porto Real com 624 casas e o Águas Claras com 1200 casas. O bairro Porto Real construído com alvenaria estrutural e o Águas Claras construído com o sistema de painéis pré-moldados. Os dados gerais de cada obra como: data do início da obra, número de casas de cada etapa, valor pago por cada casa pela Caixa à Tecol, área construída de cada casa, valor por metro quadrado e o valor do contrato são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados gerais das obras do Porto Real e do Águas Claras.

OBRA	DATA	CASAS	VALOR UNIT	ÁREA CONST.	R\$/M2	CONTRATO
PORTO REAL 1	nov/09	481	R\$ 42.000,00	36,69	R\$ 1.144,73	R\$ 20.202.000,00
PORTO REAL 2	abr/10	143	R\$ 43.800,00	36,69	R\$ 1.193,79	R\$ 6.263.400,00
ÁGUAS CLARAS 1	jan/12	499	R\$ 57.000,00	45,54	R\$ 1.251,65	R\$ 28.443.000,00
ÁGUAS CLARAS 2	out/12	701	R\$ 63.455,00	45,54	R\$ 1.393,39	R\$ 44.481.955,00

Fonte: autores.

A partir do valor pago por metro quadrado construído, é possível perceber que os dados a serem comparados, quando relacionados percentualmente, estarão igualmente relacionados, pois este valor é corrigido por índices da construção civil.

A Figura 3 a seguir mostra um exemplo das quatro planilhas que detalham os materiais comprados em cada obra.

DATA	PEDIDO	ITEM	DESCRIÇÃO	C.CUSTOS	QUANTIDADE	UNITÁRIO	TOTAL			
11/11/2009	207001	1	15401-ANEL BORRACHA PTUBO PVC 100MM (4) PBA	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	50	1,08	54			nov/09 R\$ 150.501,80
11/11/2009	207001	2	15418-ANEL BORRACHA PTUBO PVC 150MM (6) PBA	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	40	1,62	64,8			dez/09 R\$ 616.802,85
11/11/2009	207001	3	15380-ANEL BORRACHA PTUBO PVC 50MM (2) PBA	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	60	0,65	38,88			jan/10 R\$ 1.792.602,34
11/11/2009	207001	5	13242-BUCHA DE REDUÇÃO PVC 150 X 100 MM PBA	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	5,44	10,88			fev/10 R\$ 3.537.481,83
11/11/2009	207001	6	13244-CAP DE PVC PBA DIAM = 160 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	34,4	68,8			mar/10 R\$ 723.530,83
11/11/2009	207001	7	12999-CAP PBA DN 100 E DE 110 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	15	30			abr/10 R\$ 1.142.409,55
11/11/2009	207001	8	11524-CAP PVC PBA DI 50 MM E DE 60 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	8	2,2	17,6			mai/10 R\$ 162.732,51
11/11/2009	207001	9	13389-CURVA PBA 45 DI 50 - DE 60 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	6,15	12,3			jun/10 R\$ 477.230,47
11/11/2009	207001	10	12998-CURVA PBA 90 DN 150 DE 160 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	154,5	309			jul/10 R\$ 1.071.078,86
11/11/2009	207001	11	13390-LUVA PBA CORRER DI 50 - DE 60 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	3,4	6,8			ago/10 R\$ 496.220,85
11/11/2009	207001	12	15992-LUVA PVC ROSCAVEL DE 3/4	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	350	0,49	171,5			set/10 R\$ 251.302,16
11/11/2009	207001	13	35281-TE PBA DN 50 DE 60 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	8	6,9	55,2			out/10 R\$ 157.258,43
11/11/2009	207001	14	12995-TE PBA DN 100 DE 110 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	10	27	270			nov/10 R\$ 44.282,11
11/11/2009	207001	15	12996-TE PBA DN 150 DE 160 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	2	117	234			dez/10 R\$ 33.223,68
11/11/2009	207001	16	11647-TUBO PBA DN 100 E DE 110 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	450	92	41.400,00			jan/11 R\$ 23.828,45
11/11/2009	207001	17	12992-TUBO PBA DN 150 E DE 160 MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	30	198	5.940,00			fev/11 R\$ 150.380,44
11/11/2009	207001	18	33927-TUBO PBA DN 50 E DE 60MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	300	26,9	8.070,00			mar/11 R\$ 12.675,00
11/11/2009	207002	1	29936-ANEL CONCRETO ARM. D=1,00M(INT)H=0,50CM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	66	91	6.006,00			abr/11 R\$ 25.949,94
11/11/2009	207002	2	33971-TUBO DE CONCRETO CONICO - 100X50CM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	66	97	6.402,00			mai/11 R\$ 1.750,00
11/11/2009	207003	1	38904-TAMPAO DE FERRO FUNDIDO T-70 ESGOTO	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	66	160	10.560,00			jun/11 R\$ -
11/11/2009	207003	2	38904-TAMPAO DE FERRO FUNDIDO T-70 AGUA PLUVIAL	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	4	160	640			jul/11 R\$ 7.200,00
11/11/2009	207004	1	14996-TUBO DE PVC P/ ESGOTO DE 100MM (4)	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	650	20	13.000,00			ago/11 R\$ 1.238,12
11/11/2009	207004	2	15457-TUBO PVC RIGIDO ROSCAVEL DE 3/4	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	630	9	5.670,00			set/11 R\$ -
26/11/2009	207005A	1	13461-TUBO CERAMICO DE 150MM	22.00.00-SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS	4.800,00	8,4	40.320,00			out/11 R\$ -
18/11/2009	207006.	1	06062.3.1.1-Caibro (largura: 50,00 mm / altura: 60,00 mm / tipo de madeira: peroba rosa) CEDRINHO16 PÇ DE 2,50 M	04.02.00-INFRA-ESTRUTURA - FORMAS - MATERIAL	40	3,75	150			nov/11 R\$ 7.536,30
18/11/2009	207006.	2	11111-TABUA 10X2,50CM 08 PÇ DE 2,00 M - CEDRINHO	04.02.00-INFRA-ESTRUTURA - FORMAS - MATERIAL	16	3,2	51,2			TOTAL R\$ 10.887.216,52

Figura 3 – Parte de planilha que detalha os materiais comprados em uma obra. Fonte: autores.

A Figura 4 abaixo mostra a planilha que detalha a quantidade e função dos funcionários Tecol, bem como o valor gasto mês a mês.

207 RESIDENCIAL PORTO REAL I		CARPINTEIRO	FEDREIRO	SERVENTE	TRATORISTA	MOTORISTA	SERRALHEIRO	ESTAGIARIO	SOLDADOR	ELETRICISTA	AUX ADM	OP ESCAVAD	ENGENHEIRO	ENCARREG	MESTRE OBRA	ALMOXARIFE	APONTADOR	TOTAL
dezembro-09	2.207,51	1		1	1													3
139/2009	1.354,90	1	1	5	1									2	1	1		12
janeiro-10	10.687,19	1	2	5	1									2	1	1	1	14
fevereiro-10	21.076,64	1	2	14	1							1	2	1	1	1	1	24
março-10	35.812,23	1	3	13	1							1	2	1	1	1	1	24
abril-10	42.225,51	1	5	15	1							1	2	1	1	1	1	28
maio-10	40.359,34	1	5	13	1							1	2	1	1	1	1	26
junho-10	40.026,67	1	5	14	1							1	2	1	1	1	1	27
julho-10	43.125,16	1	4	14	1							1	2	1	1	1	1	26
agosto-10	36.585,66	1	5	12	1							1	2	1	1	1	1	25
273.464,81																		
273464,81																		
218 RESIDENCIAL PORTO REAL I 2ª		CARPINTEIRO	FEDREIRO	SERVENTE	TRATORISTA	MOTORISTA	SERRALHEIRO	ESTAGIARIO	SOLDADOR	ELETRICISTA	AUX ADM	OP ESCAVAD	ENGENHEIRO	ENCARREG	MESTRE OBRA	ALMOXARIFE	APONTADOR	TOTAL
maio-10	5.562,12													1		1		2
junho-10	6.665,76		2										2		1			5
julho-10	9.981,65		2										3		1			6
agosto-10	13.866,30		3										3		1			7
setembro-10	51.662,95	1	3	20	1						1		1	3	1	2		33
outubro-10	56.050,33	1	3	19	1						1		1	3	1	2		32
novembro-10	48.978,24	1	3	19	1						1		1	3	1	2		31
dezembro-10	54.605,15	1	3	15	1						1		3	1	1			26
139/2010	30.155,81	1	3	15	1						1		3	1	1			26
janeiro-11	38.250,83	1	3	15	1						1		3	1	1			26
fevereiro-11	84.083,41	1	3	14	1						1		3	1	1			25
399.860,55																		
399860,55																		
232 RESIDENCIAL ÁGUAS CLARAS		CARPINTEIRO	FEDREIRO	SERVENTE	TRATORISTA	MOTORISTA	SERRALHEIRO	ESTAGIARIO	SOLDADOR	ELETRICISTA	AUX ADM	OP ESCAVAD	ENGENHEIRO	ENCARREG	MESTRE OBRA	ALMOXARIFE	APONTADOR	TOTAL
abril-12	7.818,95		2	2								1		1				6
maio-12	15.401,85		2	2								1		1				6
junho-12	30.778,85		2	2		1					1		1	1				8
julho-12	46.452,94		5	7		1	2					1	2					18
agosto-12	59.568,57		4	6		1	2	1				1	2					17
setembro-12	65.474,48		4	6		1	2	1				1	2					17
outubro-12	81.093,47		4	7		1	2	1				1	2					18
novembro-12	82.461,47	1	4	6		1	2	1				1	2					18
dezembro-12	77.866,77	1	5	7		1	2	1	1			1	2					21
139/2012	5.888,04	1	5	7		1	2	1	1			1	2					21
janeiro-13	98.175,42	1	5	8		1	2	1	3			1	2					24
fevereiro-13	113.217,91	1	6	11		1	2	1	3			1	2					28
março-13	126.495,31	1	6	9		1	2	1	3			1	2					26
abril-13	83.904,92	1	4	9				1				1	1	1				18
maio-13	84.045,86	1	4	10				1				1	1	1				19
978.644,81																		
978644,81																		
245 RESIDENCIAL ÁGUAS CLARAS 2A ET		CARPINTEIRO	FEDREIRO	SERVENTE	TRATORISTA	MOTORISTA	SERRALHEIRO	ESTAGIARIO	SOLDADOR	ELETRICISTA	AUX ADM	OP ESCAVAD	ENGENHEIRO	ENCARREG	MESTRE OBRA	ALMOXARIFE	APONTADOR	TOTAL
fevereiro-13	12.756,21		1	2				1						1		1		6
março-13	12.199,09		1	2				1						1		1		6
abril-13	56.814,35		4	13	1	4	1	1	7					1		2		34
maio-13	71.404,03		4	11	1	4	1	1	6					1		2		31
junho-13	153.377,82	1	10	28	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3		65
julho-13	141.612,19	1	10	24	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3		61
agosto-13	142.311,11	1	10	25	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3		62
setembro-13	129.044,70	1	11	25	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3	1	64
outubro-13	138.929,10	1	12	25	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3	1	65
novembro-13	139.360,42	1	12	23	1	4	1	2	5	2		1	1	5	1	3	1	63
dezembro-13	146.556,47	1	9	19	1	4	1	2	4	2		1	1	5	1	3	1	55
139/2013	31.262,58	1	8	16	1	3	1	2	4	2		1	1	5	1	3	1	50
janeiro-14	77.621,63	1	9	25	1	2		3	2	1		1	1	2	2	2	1	53
fevereiro-14	86.438,25	1	9	25	1	2		3	2	1		1	1	2	2	2	1	53
março-14	99.596,61	1	8	23	1	2		3	1	1		1	1	1	2	2	1	48
abril-14	170.958,60	1.610.241,16	6	14	1	2		2	1			1	1	1	2	3	1	35
1610241,16																		

Figura 5 – Planilha que detalha a quantidade e função dos funcionários Tecol e o valor gasto mês a mês. Fonte: autores.

A Tabela 2 a seguir, contempla os valores consolidados a partir das quatro planilhas dos materiais para cada obra e da planilha do valor gasto com funcionários Tecol.

Tabela 2 – Valores consolidados a partir das cinco planilhas coletadas.

OBRA	FUNCIONÁRIOS TECOL	MATERIAIS / EMPREENHEIROS	CONTRATO	LUCRO*	LUCRO OBRA*
PORTO REAL 1	R\$	R\$	R\$	44,8%	44,1%

	273.464,81	10.887.216,52	20.202.000,00		
	R\$	R\$	R\$		
PORTO REAL 2	399.860,55	3.246.763,40	6.263.400,00	41,8%	
	R\$	R\$	R\$		
ÁGUAS CLARAS 1	978.644,81	15.569.665,20	28.443.000,00	41,8%	42,7%
	R\$	R\$	R\$		
ÁGUAS CLARAS 2	1.610.241,16	23.628.728,72	44.481.955,00	43,3%	

* O lucro de cada obra apresentado na tabela II não retrata o lucro real obtido, pois dados como: valor dos terrenos, impostos pagos, escritório, etc não estão sendo contemplados.

Fonte: autores.

A Tabela 2 possibilita a visualização de um lucro percentual final, ligeiramente maior na obra convencional do bairro Porto Real. Como os valores dos impostos gerais e o valor dos terrenos não foram computados, podemos dizer que o lucro percentual final é aproximado; por serem valores próximos (44,1% e 42,7%), não houve ganho financeiro na troca do sistema convencional pelo sistema *Premiere*.

Seguindo a análise dos dados, foram feitas duas separações nas quatro planilhas que contemplam os valores gastos com materiais e os gastos com serviços prestados por empreiteiros. A primeira separação foi efetuada considerando somente os materiais utilizados na parte estrutural das casas (Tabela 3). Já a segunda, considerou o valor gasto com serviços prestados por empreiteiros, somando o valor gasto com funcionários Tecol (Tabela 4).

Tabela 3 – Valores gastos na parte estrutural das casas.

COMPARÁVEIS POR OBRA	MATERIAIS	% TOTAL	% TOTAL OBRA	R\$/M2
PORTO REAL 1 comparáveis	R\$ 4.146.636,00	20,5%	20,1%	R\$ 234,96
PORTO REAL 2 comparáveis	R\$ 1.179.920,00	18,8%		R\$ 224,89
ÁGUAS CLARAS 1 comparáveis	R\$ 7.852.669,00	27,6%	28,0%	R\$ 345,56
ÁGUAS CLARAS 2 comparáveis	R\$ 12.566.501,00	28,3%		R\$ 393,64

Fonte: autores.

Tabela 4 – Valores gastos com serviços prestados por empreiteiros mais funcionários Tecol.

OBRA	EMPREITA PAGA	% TOTAL	% TOTAL OBRA	FUNCIONÁRIOS TECOL	% TOTAL	% TOTAL OBRA	TOTAL (EMP + FUNC)
PORTO REAL 1	R\$ 3.279.218,42	16,20%	16,25%	R\$ 273.464,81	1,40%	2,54%	18,80%
PORTO REAL 2	R\$ 1.022.548,84	16,30%		R\$ 399.860,55	6,40%		
ÁGUAS CLARAS 1	R\$ 3.584.089,30	12,60%	14,22%	R\$ 978.644,81	3,40%	3,55%	17,80%
ÁGUAS CLARAS 2	R\$ 6.789.327,85	15,30%		R\$ 1.610.241,16	3,60%		

Fonte: autores.

A Tabela 3 mostra que o valor gasto com a parte estrutural nas casas do Bairro Águas Claras, ou seja, as que utilizam o sistema *Premiere*, fica próximo de 8% superior ao valor convencional. Somando o valor dos *royalsts*, que é de 2% de cada unidade construída, é possível dizer que, aproximadamente 30% do valor do contrato da obra é gasto com os painéis *Premiere*, contra 20% do sistema convencional. Este resultado é esperado quando considera-se que os painéis utilizam concreto e armadura que não estão presentes na alvenaria convencional.

A Tabela 4 mostra que os valores pagos para empreiteiros numa obra convencional são maiores (16,25% contra 14,22% da obra com sistema *Premiere*), cerca de 2%. Já os valores pagos a funcionários Tecol é 1% superior (3,55% contra 2,54%) nas obras que utilizaram o sistema *Premiere*. Ao considerar o custo de mão de obra total, é possível concluir que, para as obras que utilizaram o sistema *Premiere*, esse custo é ligeiramente menor.

A Tabela 5 a seguir apresenta o tempo de construção de cada obra, bem como a média de casas construídas por dia. Já a Tabela 6, apresenta a maior quantidade de funcionários total nas duas obras, e a média de funcionários por casa.

Tabela 5 – Tempo de construção de cada obra e a média de casas construídas por dia.

	CONSTRUÇÃO	CASAS	CASA/DIA
Porto Real (1 e 2)	20 meses	624	1,04
Águas Claras (1 e 2)	34 meses	1200	1,18

Fonte: autores.

Tabela 6 – Maior quantidade de funcionários total nas duas obras e a média de funcionários por casa.

	PICO		
	FUNCIONÁRIOS	CASAS	FUNC./CASA
Porto Real	345	624	0,55
Águas Claras	334	1200	0,28

Fonte: autores.

Como pode ser visto na Tabela 5, apesar da construção convencional ocorrer em tempo menor (20 contra 34 meses da obra com sistema *Premiere*), quando o número de casas entra na relação, são mais casas montadas por dia em uma obra com sistema *Premiere*, que em uma obra convencional.

Já a Tabela 6 mostra resultados favoráveis para o maior número de funcionários totais (334 em obra *Premiere* contra 345 em obra convencional), sendo que, quando o número de casas de cada obra entra na relação, a média funcionários por casa melhora a vantagem do Sistema *Premiere*.

A Tabela 7 mostra todos os dados obtidos de forma consolidada e resumida.

Tabela 7 – Dados obtidos de forma consolidada e resumida.

OBRA	LUCRO OBRA	% TOTAL ESTRUTURA	% TOTAL (EMP + FUNC)	CASA/DIA	FUNC./CASA
Porto Real	44,1%	20,1%	18,8%	1,04	0,55
Águas Claras	42,7%	28,0%	17,8%	1,18	0,28

Fonte: autores.

CONCLUSÕES

A partir da observação dos dados contidos na Tabela 7, é possível verificar que, apesar do lucro de uma primeira obra com utilização do sistema *Premiere* estar ligeiramente abaixo de uma obra convencional (percentualmente falando, já que o lucro com o Porto real foi de R\$ 11.671.241,40 e do Águas Claras foi de R\$ 31.138.955,80) e, que mesmo com gasto maior na parte estrutural das casas, o

sistema é válido. O índice de construção de casas por dia aponta para velocidade maior em obras que utilizam o sistema *Premiere*, bem como o índice do total gasto com funcionários e o índice do número de funcionários por casa também apontam para o sistema *Premiere*. Logo, verifica-se que todos os índices de produtividade estudados apontam o sistema *Premiere*.

A primeira obra que utiliza o sistema *Premiere* foi vista como uma obra de adaptação ao novo sistema e de preparação para a boa utilização do mesmo, espera-se que uma segunda obra que utilize o sistema, atinja índices de produtividade, ainda melhores que os apontados e que o lucro percentual dessa nova obra seja maior que o evidenciado na obra convencional (Porto Real).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldadas*. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho*. Rio de Janeiro, 2014.

SOUSA, J. A. – Produção de Peças Estruturais de Concreto Pré Moldado – Relatório – Uniplac. 2013.

MANUAL PREMIERE . *Manual Técnico do Sistema Construtivo Premiere*. 2015

IGLESIA, T. B. *Sistemas Construtivos em Concreto Pré-moldado*. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2006

SOUZA, P. H. P. A. *Análise de produção, moldagem e execução de painéis alveolares pré-fabricados em concreto armado utilizados em sistemas de alvenaria*. Trabalho de

conclusão de curso. UFRJ, Rio de Janeiro, 2013

SITE *PREMIERE* – Disponível em: <www.premiereconstrutora.com.br/conheca-a-premiere>. Acesso em: 09/05/2015.

Comportamento de estruturas de concreto reforçadas com CFC quando submetidas à flexão simples

Concrete structures strengthened to bending with CFRP

Fábio Cervantes Lima¹
Fabrício Ferreira do Nascimento¹
João Ernesto Fagá Teixeira¹
André Luís Gamino²

RESUMO

Este estudo consiste em testes de reforços em vigas de concreto simples, com a utilização de compósitos reforçados com fibras de carbono. Nas amostras foram realizados 3 tipos diferentes de reforços, todos submetidos à flexão simples. Os ensaios ocorreram de acordo com norma específica e a aplicação do CFC com estudo de artigos relacionados e instruções do fornecedor. Vale ressaltar a falta de normatização brasileira para reforços com CFC o que dificultou bastante a fundamentação do trabalho. Os ensaios realizados mostraram aumento significativo de resistência para cada tipo de reforço, chegando a mais de 100% de ganho de resistência em relação à viga de concreto simples.

Palavras-chave: Reforço Estrutural; Compósitos Reforçados por Fibras de Carbono; Reforço a Flexão.

ABSTRACT

This paper consists in reinforcements tests in simple concrete beams using the composites reinforced with carbon fibers reinforced polymers. On samples were

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

performed three different types of reinforcements, all subjected to simple bending. The tests had been made according to specific standards and the application of CFRC according to the study of related papers and education provider. It is worth mentioning the lack of Brazilian regulation for CFRP reinforcements, which made it difficult enough in the preparation of this paper. The tests showed a significant increase in resistance for each type of reinforcement, reaching more than 100% of strength gain compared to plain simple concrete beam.

Keywords: Structural strengthening; Carbon Fiber Reinforced Polymer; Flexural strengthening

Introdução

Mediante a necessidade de reforço em elementos estruturais de concreto armado em decorrência de acréscimos de carga, patologias, problemas no ciclo construtivo e deterioração de estruturas, objetivaram estudos e desenvolvimento de técnicas para este fim. Alguns países possuem técnicas avançadas de reforços estruturais com materiais de alto desempenho e normatização específica para tais procedimentos. No Brasil, estudos foram realizados para utilização desses materiais, como o principal intuito, o ganho de resistência frente a esforços solicitantes.

Há vários tipos de materiais para este serviço, dentre eles, as chapas metálicas que são aderidas à estrutura formando um conjunto mais resistente e materiais que apresentam qualidade e desempenho superior aos comuns utilizados na construção civil, como Polímeros Reforçados com Fibra (PRF), demonstrados a seguir (Figura 1);

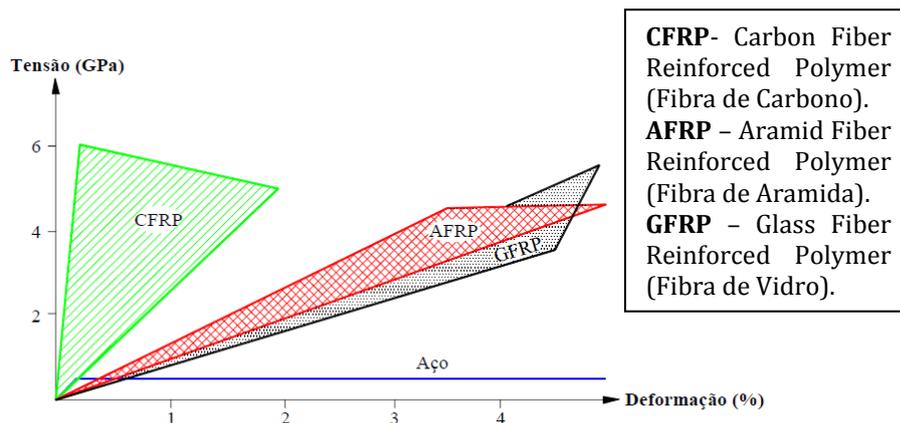


Figura 1 – Diagrama tensão-deformação de PRF e aço. Fonte: Gamino, 2007, p. 04.

Estes materiais podem apresentar custos diretos elevados para aplicação, sendo necessário o uso de técnicas construtivas mais eficazes e qualificadas.

O material utilizado neste estudo é o Compósito de Fibra de Carbono (CFC), que apresenta as principais características: alto índice de rigidez e resistência mecânica, resistência a ataques químicos, boa resistência à corrosão, baixo peso específico, fácil aplicação, acréscimo de carga inferior comparado a perfis metálicos e baixa resistência ao fogo.

Este compósito elencado à estrutura tende a aumentar o desempenho frente aos esforços à flexão e cisalhamento, cabe ser feito nas regiões onde atuam estes esforços.

Verifica-se a falta de bibliografias nacionais que enfatizam técnicas específicas para a utilização deste sistema, o que dificultou a determinação de parâmetros para sua aplicação.

Deseja-se, com este estudo de pesquisa científica, realizar a verificação de tal acréscimo de resistência nos elementos estruturais, vigas a flexão e técnicas de aplicação do sistema compósito, simulando a possível utilização do reforço em elementos convencionais. A realização dos testes e a elaboração dos elementos foram feitas conforme preconiza a NBR 5738 (2015), NBR 12142 (2010) e NBR 6118 (2014) que em sua última versão não abordou referências para o assunto.

Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- ✓ Verificar o desempenho do sistema compósito estruturados com fibra de carbono;
- ✓ Aplicar e verificar ganho de resistência;
- ✓ Analisar pontos de eficiência e deficiência do processo;
- ✓ Comparar resultados para aplicação do método.

Metodologia e etapa experimental

Neste trabalho foi verificado o ganho de resistência para vigas de concreto em escala reduzida quando aplicado o reforço com CFC. Foram empregadas as seguintes etapas para o experimento: o traço do concreto e o consumo de água, cimento, agregado miúdo e agregado graúdo utilizado para produção do concreto foram definidos pelo método INT (Instituto Nacional de Tecnologia). Após o cálculo do traço, foi efetuada a concretagem das vigas e retirada de corpos de prova (CP's). Posterior a betonada, foram feitos os ensaios com os CP's cilíndricos e prismáticos para análise de resistência. Após o ensaio, foi constatado erro no cálculo do traço e na forma de adensar a viga; as correções foram efetuadas e um novo traço, calculado e realizado. A aplicação do sistema de reforço aconteceu conforme parâmetros do fornecedor e análise bibliográfica. Enfim, foi realizado um novo ensaio dos CP's cilíndricos e das vigas com e sem compósito, conforme estabelecido pela NBR 5739 (2007) e NBR 12142 (2010).

Cálculo do traço

O cálculo pelo método INT foi feito almejando um f_{ck} de 25 MPa (tabela I). Pelo método INT, a resistência à compressão utilizada em suas formulações é a resistência média e deve estar com a unidade em kgf/cm^2 . A NBR 12655 (2015) descreve a seguinte formulação para definir a resistência média à compressão e característica, por meio de $S_d = 4\text{MPa}$ na condição A de preparo:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d$$

$$f_{c28} = 31,6 \text{ MPa} = 316 \text{ kgf/cm}^2$$

Tabela 1 – Cálculo do traço e quantidade de materiais pelo método INT.

Cálculo do fator água cimento	$a/c = 1,05616 \cdot e^{(-0,002487 \cdot f_{c28})}$	$a/c = 0,48$
Cálculo do percentual de areia	$\%areia = 97,27494 \cdot f_{c28}^{(-0,17257)}$	$\%areia = 36\%$
Determinação do abatimento	Elementos usuais e Consistência Plástica	ST = 6 cm
Relação água/materiais secos	Brita 1 e ST = 6 cm	$h(\%) = 9,25\%$
Quantidade total de agregados (m)	$h(\%) = \frac{a/c}{(1+m)}$	$m = 4,19$
Proporção de agregado miúdo	$a = \%areia \cdot m$	$a = 1,5$
Proporção de agregado graúdo	$p = m - a$	$p = 2,69$
Consumo de cimento	$c = \frac{1000}{\left(\frac{1}{dc} + \frac{a}{da} + \frac{p}{dp} + a/c\right)}$	$c = 420,4 \text{ kg/m}^3$
Agregado miúdo	$Areia = a \cdot c$	$Areia = 630,6 \text{ kg/m}^3$
Agregado graúdo	$Brita = p \cdot c$	$Brita = 1130,9 \text{ kg/m}^3$
Água	$\text{Água} = a/c \cdot c$	$\text{Água} = 201,8 \text{ kg/m}^3$

Traço em massa → 1: 1,5: 2,69: 0,48

Fonte: autores.

Concretagem dos elementos

Foi feita a concretagem de quatro vigas, sendo três com comprimento de 75 cm e seção transversal quadrada de 15x15 cm e uma com 50 cm de comprimento e seção de 15x15 cm. Ocorreu e retirada de oito corpos de prova cilíndricos com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm. O volume total de concreto necessário para o preenchimento das fôrmas foi de 0,1 m³. Com o volume total de concreto e a quantidade de materiais por m³, obtiveram-se as massas de cada material utilizado na produção do concreto.

- Massa de materiais

$$cemento = c \cdot V_T = 420,4 \cdot 0,1 = 42,04 \text{ kg}$$

$$areia = a \cdot V_T = 630,6 \cdot 0,1 = 63 \text{ kg}$$

$$brita = 1130,9 \cdot 0,1 = 113,1 \text{ kg}$$

$$\text{água} = (201,8 \cdot 0,1) = 20,2 \text{ kg} - 4,5\% = 19,29 \text{ kg}$$

Com a determinação das massas estabelecidas, foi realizada a aferição dos materiais em uma balança (Figura 2).



Figura 2 – Pesagem dos materiais. Fonte: autores.

No total, foram realizadas duas betonadas utilizando uma betoneira com capacidade máxima de 80 litros para a mistura dos materiais. Foram adicionados, respectivamente, areia, cimento, brita e água.

A consistência do concreto foi estabelecida de acordo com a NM 67 (1998) por meio do abatimento do tronco de cone. Preliminarmente foi feito o nivelamento da base para realização de *slump test* (Figura 3). Depois, adicionado concreto ao cone, já na base nivelada, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado. Em cada camada foram aplicados 25 golpes com a haste metálica (Figura 4).



Figura 3 – Nivelamento da base. Fonte: autores.



Figura 4 – Adensamento. Fonte: autores.

O resultado do *slump test* obtido foi um abatimento de 12 cm. Porém, o esperado conforme o método INT era de aproximadamente 6 cm. A justificativa está na umidade da areia e brita utilizada no ensaio, o que causou uma majoração na relação água/materiais secos.

Preparação dos elementos

Com o abatimento aferido deu-se início à preparação das fôrmas para sua concretagem. O adensamento do CP's cilíndricos foi realizado em duas camadas iguais recebendo 12 golpes cada uma, e o adensamento das vigas também em duas camadas, aplicando-se 75 golpes em cada camada, conforme a NBR 5738 (2015). As fôrmas foram preenchidas em suas totalidades, com concreto e cobertas com lonas para inibir a cura prematura do concreto.

Aplicação da resina epóxi

A resina epóxi utilizada no sistema compósito foi a “*Triepox C44*”, e as características do CFRP apresentadas pelo fornecedor são:

- ✓ Tensão limite de 3.500 MPa;
- ✓ Módulo de elasticidade de 150 GPa;
- ✓ Espessura final do compósito de 0,38 mm (1 camada do tecido).

A ASTM D3039/D3039M-14 (2014) e ASTM D638-14 (2014),

respectivamente, estabelecem parâmetros de ensaios de caracterização das mantas e resina utilizadas; procedimento não aplicado neste trabalho devido a não realização de cálculos para dimensionamento dos materiais de reforço e limitação de equipamentos específicos.

Seguindo orientações de procedimentos normativos internacionais para aplicação do reforço, foi retirada a nata de concreto da superfície a receber o reforço até a obtenção da exposição do concreto íntegro e do agregado; e os cantos das vigas foram arredondados (Figura 5), para evitar a concentração de carga no tecido e ar impedindo a aderência na ancoragem. Para retirada dos resíduos deixados pelo lixamento da superfície do elemento, foi utilizado álcool etílico hidratado e uma flanela de tecido simples.



Figura 5 - Retirada da nata e arredondamento dos cantos. Fonte: autores.

O tecido foi cortado (Figura 6) para a colagem nas vigas, com os seguintes tamanhos:

- ✓ Viga V₁ – Não recebeu reforço (viga teste);
- ✓ Viga V₂ – 1 seção de 45x15 cm + 5 tiras de 6x45 cm;
- ✓ Viga V₃ – 1 seção de 45x15 cm;
- ✓ Viga V₄ – 2 seções de 45x15 cm.

Há necessidade de roupas que protejam a superfície da pele, pois o tecido expõe fragmentos do compósito que ao entrar em contato com a pele podem causar irritações devido a sua finura.



Figura 6 - Recorte das fibras. Fonte: autores.

Depois que os tecidos foram recortados, houve a pesagem dos componentes A e B (Figura 7), que formam a resina epóxi, em proporções de massa de 10% e retirada da tara para melhor precisão na realização da mistura.



Figura 7 - Pesagem do componente A e B, respectivamente. Fonte: autores.

A realização das misturas dos componentes foi feita manualmente (Figura 8), durante 5 minutos, com a finalidade de obter um composto homogêneo.



Figura 8 – Mistura dos componentes. Fonte: autores.

Finalizada a mistura da resina, com o auxílio de um pincel, aplicou-se uma fina camada de resina nas vigas e nos tecidos (Figura 9). Foram feitas 3 formas distintas de aplicação da fibra: V₃ recebeu apenas 1 camada de fibra sem ancoragem, V₄ recebeu 2 camadas, também sem ancoragem e por último V₂ recebeu 1 camada e ancoragem em U, com o envolvimento de toda a altura e base do elemento.



Figura 9 – Aplicação sobre a superfície do elemento e no tecido. Fonte: autores.

Aplicação do tecido

Terminada toda preparação do sistema composto, foi feita a colocação dos tecidos nos elementos de concreto. Considerando que o teste é realizado como um

modelo simples de viga biapoiada, foi aplicado em V₃ o compósito na parte oposta ao da aplicação da força e na região de maior momento fletor (Figura 10).



Figura 10 – Colocação do tecido em V₃. Fonte: autores.

Foi necessária, após a aplicação da fibra, a retirada de bolhas de ar com rolo cilíndrico para obtenção de melhor contato entre as superfícies (Figura 11).



Figura 11 – Retirada de bolhas de ar entre as superfícies. Fonte: autores.

Na viga V₄ foi realizada a colocação de duas camadas seguindo o método demonstrado na viga V₃.

Com a viga V₂ foi realizada a ancoragem após a colocação de 1 camada no bordo inferior (Figura 12). A ancoragem foi realizada com a colocação de 5 tiras de

6 cm, espaçadas a aproximadamente 4 cm; pequenas variações ocorreram devido a deformação do tecido quando umedecido com a resina. A retirada das bolhas de ar ocorreu conforme V_3 e V_4 .



Figura 12 – Realização da ancoragem com tiras. Fonte: autores.

Após a retirada das bolhas de ar foi realizada uma camada de finalização sobre o sistema com resina epóxi em todos os elementos e esperada a cura do sistema em 7 dias, conforme determinação do fornecedor do material. Com todos os elementos prontos (Figura 13) os testes de resistência foram iniciados.



Figura 13 – Vigas reforçadas e CP's cilíndrico. Fonte: autores.

Observa-se que os reforços nos elementos não alteraram suas seções, e o acréscimo de carga do sistema aplicado foi desprezado para análise de ruína, por não possuir relevância quando comparado à aplicação de carga em elementos de concreto.

Realização dos ensaios

Os ensaios iniciaram com os testes à compressão dos CP's cilíndricos para determinação do f_{ck} conforme prescrito pela NBR 5739 (2007). Em seguida, a viga teste V_1 foi ensaiada conforme a NBR 12142 (2010) para determinação da resistência à tração por flexotração (Figura 14) e retirada dos valores de carga de ruína do elemento. Para os elementos reforçados, optou-se pela mesma padronização de ensaio de V_1 , pois não há normatização nacional para este tipo de ensaio.



Figura 14 – Ensaio V_1 . Fonte: autores.

Com a análise da ruína de V_2 (Figura 15), pode-se concluir que o método de ancoragem utilizado não permitiu o descolamento do tecido; houve a transferência de tensões tangenciais, o que ocasionou o cisalhamento (não estava ou era reforçado para este tipo de tensão). O tecido foi submetido ao seu limite, chegando ao rompimento da seção de ancoragem.



Figura 15 – Ensaio de V_2 . Fonte: autores.

Em V_3 e V_4 (Figuras 16 e 17), os elementos romperam a flexão. A área de aderência do compósito não foi suficiente para a aplicação da carga realizada; deste modo, a ruína do sistema de reforço ocorreu por descolamento do compósito.



Figura 16 – Ensaio de V_3 . Fonte: autores.



Figura 17 – Ensaio de V_4 . Fonte: autores.

Cálculo da resistência à compressão CP cilíndrico

O cálculo da resistência à compressão dos CP's é calculado pela seguinte expressão, segundo a NBR 5739 (2007).

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2}$$

A Tabela 2 mostra o resultado da resistência à compressão de cada CP rompido e a Tabela 3 o cálculo do f_{ck} com base em cada resistência à compressão das amostras.

Tabela 2 – Cálculo da resistência à compressão em CP's cilíndricos.

Betonadas	CP	Resistência (MPa)
1º Betonada	CP 1	33,17
	CP 2	37,75
	CP 3	38,74
	CP 4	39,10
2º betonada	CP 5	35,14
	CP 6	30,84
	CP 7	33,36
	CP 8	35,75

Fonte: autores.

Tabela 3 – Cálculo da resistência característica dos CP's cilíndricos.

Resistência média à compressão	$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n}$	$f_{cm} = 35,48 \text{ MPa}$
Desvio padrão da amostra	$S_c = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cm} - f_{ci})^2}{n - 1} \right)^{0,5}$	$S_c = 2,94 \text{ MPa}$
Resistência característica	$f_{ck} = f_{cm} - 1,65.S_c$	$f_{ck} = 30,62 \text{ MPa}$

Fonte: autores.

O valor obtido da resistência característica de 30,62 MPa mostrou a confiabilidade e eficácia do método INT para obtenção do traço de concreto, ou seja, este valor não foi inferior ao de cálculo de 25 MPa, com desvio padrão de 2,94 MPa, sendo o máximo permitido, via condição “A” de mistura, de 4 MPa.

Cálculo da resistência à tração na flexão de CP's prismáticos

Segundo a NBR 12142 (2010), a fórmula para determinar a resistência dos CP's prismáticos encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistência à tração em CP's prismáticos.

Elemento	Técnica de reforço	Formulação	Carga de ruptura (kgf)	Resistência à tração (MPa)	Tipo de ruína
V1	sem reforço	$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2}$	2.812	3,749	Flexão
V2	1 camada + ancoragem	$f_{ct,f} = \frac{3.F.a}{b.d^2}$	6.041	6,014	Cisalhamento
V3	1 camada	$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2}$	4.320	5,76	Flexão
V4	2 camadas	$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2}$	6.228	8,304	Flexão

Fonte: autores.

O procedimento de cálculo adotado para verificação da resistência à tração dos elementos reforçados foi a mesma da formulação para o convencional.

Os reforços aumentaram a carga de ruptura em aproximadamente 114% em V2, 121% em V4 e 53% em V3.

Os métodos do reforço aplicado em V_2 e V_4 não apresentaram valores de carga de ruptura com elevada diferença, em meio ao esforço à flexão. A comparação de V_2 e V_3 mostra ainda que a técnica da ancoragem obteve mais que o dobro do ganho de resistência da aplicação de apenas uma camada.

Conclusão

O sistema estudado mostrou elevado ganho de resistência com as técnicas de reforço aplicadas; sendo este ganho, o objetivo principal do estudo, o que confere o seu uso em estruturas de concreto.

Fica constatada a vantagem da realização de ancoragem para previsão do possível descolamento do tecido como ocorrido nos demais elementos não ancorados, o que eleva a eficácia do tecido colado na região tracionada, onde apenas uma camada com ancoragem alcançou o ganho de resistência próximo ao do reforço com duas camadas. Na técnica de reforço utilizada em V_2 , cabe a realização de cálculos para prever insuficiência da área de tecido utilizada na ancoragem e o aprimoramento do método.

Depois de finalizados os reforços, as seções dos elementos não sofreram alterações, preservando a geometria dos mesmos. Logo, favorece ainda mais a sua utilização, sendo que a fundamentação de normas nacionais que tratassem de realizações de tais procedimentos viabilizaria em muito seu emprego em reforços estruturais.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D3039/3039M-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

_____. *ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

_____. *NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

GAMINO, André L. *Modelagem física e computacional de estruturas de concreto reforçadas com CFRP*. 2007. 259f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Análise comparativa entre GPS e Estação Total para levantamento de dados topográficos

Comparative analysis between GPS and Total Station to topographic data design

Cassio Julian Leopoldo¹
Fernando da Silva Crivelari¹
Lucas Balera Esposito¹
Nayara Stefani Ferreira Barreto¹
Wellington Alexandre Sperandio¹
André Luís Gamino²

RESUMO

O levantamento topográfico é uma técnica que já existe há centenas de anos para a obtenção de áreas e divisões de propriedades em geral. Neste trabalho, foram realizados levantamentos topográficos de uma mesma área por dois instrumentos de obtenção de dados topográficos distintos com o intuito de analisar separadamente cada aparelho utilizado no levantamento. Também foram adotados como objeto de análise os dados da área obtidos em cada levantamento topográfico. Para os levantamentos foram utilizados os aparelhos GPS (*Global Positioning System*) Ashtech ProMark 2 e a Estação total Ruide RTS 820. Ao final de cada levantamento, os dados obtidos em campo foram descarregados no computador e processados, e com o auxílio do programa AutoCAD 2015 desenvolvia-se o mapa topográfico da área analisada. Após a execução e processamento de dados dos dois levantamentos, com resultados em mãos, foi possível concluir que houve uma pequena diferença entre os dois métodos empregados.

Palavras-Chave: Levantamento Topográfico; GPS; Estação Total; mapa Topográfico.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

ABSTRACT

The topographical design is a technique that has existed for hundreds of years for obtaining areas and division properties in general. In this task, were realized different topographical surveys, to separately analyze each instrument used in the survey. Was also adopted as object analysis the area data obtained in each project. For surveying were used the GPS devices (Global Positioning System) Ashtech ProMark 2 and total station Ruide RTS 820. By the end of each design, the information obtained in work was downloaded to the computer and processed, and then, helped by the program AutoCAD 2015, the topographical survey map of the area was developed. After the execution and processing of the data from the two project, the results in hand allowed us to conclude that there was little difference between the two methods employed.

Keywords: Topographical Design; GPS; Total Station; Topographic map.

Introdução

Segundo Borges (2013):

A topografia [do grego topos (lugar) e graphein (descrever)] é a ciência aplicada cujo objetivo é representar, no papel, a configuração de uma porção de terreno com as benfeitorias que estão em sua superfície. Ela permite a representação, em planta, dos limites de uma propriedade, dos detalhes que estão em seu interior (cercas, construções, campos e cultivados e benfeitorias em geral, córregos, vales, espigões, etc.). (BORGES, 2013, p.11).

E assim, sabendo o que é topografia e qual sua abrangência, no presente trabalho foram executados levantamentos topográficos de uma mesma área por meio de dois aparelhos de obtenção de dados e pontos cartesianos.

Situada no município de Alto Alegre – SP, bairro de São Martinho D` Oeste, zona rural, a área é aberta com um bom campo de visão e terreno com desnível considerável.

Os levantamentos foram em planimetria. Segundo Borges (2013, p. 11), na planimetria são medidas as grandezas sobre um plano horizontal. Essas grandezas são as distâncias e os ângulos, todos no sentido horizontal.

Os dados encontrados pelo GPS são, em geral, obtidos em coordenadas UTM. O aparelho é posicionado a partir do norte verdadeiro; no entanto, na estação total, os dados são coletados a partir do plano topográfico local com norte adotado e posteriormente, pelo processo de cálculo, são encontradas as coordenadas locais de cada ponto.

Após a obtenção dos dados do levantamento e dos cálculos necessários, foi feita uma representação do terreno em planta. Logo após, mediante todos os dados e plantas foi realizada uma comparação entre os dois métodos, analisando-se a precisão de cada aparelho e a viabilidade dos métodos para o levantamento da área em relação ao tempo, praticidade e precisão.

Metodologia e Etapa Experimental

Os trabalhos deste comparativo foram desenvolvidos a partir de especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos eletrônicos de medição e de normas para coleta de dados em campo, de acordo com a NBR 13133 (1994).

Foram realizados dois levantamentos sistemáticos em uma mesma área pré-selecionada, empregando-se os aparelhos: Estação total Ruide RTS 820 (Figura 1) e o GPS Ashtech ProMark 2 (Figura 2).



Figura 1 – estação total Ruide RTS 820. **Figura 2** – GPS Ashtech ProMark 2. Fonte: autores

Para o processamento dos dados do GPS foi utilizado o software Ezsuryv – TechGeo 2.40, que calcula a posição exata do ponto em coordenadas UTM.

Com a Estação Total Ruide RTS 820 foram empregados sistemas internos do próprio aparelho. A planilha de campo será planejada e armazenada pela própria estação, que fornecerá coordenadas cartesianas do plano topográfico local.

O AutoCAD 2015 foi empregado para o desenho em planta e representação gráfica dos dados obtidos nos levantamentos.

Sistema GPS

O GPS é um sistema que fornece o posicionamento de todos os pontos terrestres. A medição é feita através de sinais eletromagnéticos emitidos no momento em que o aparelho se conecta aos satélites que orbitam ao redor do globo terrestre (ANTUNES, 1995).

O sistema GPS foi desenvolvido nos anos 60 nos Estados Unidos pela força aérea e pela NASA. Inicialmente foi chamado de sistema TRANSIT; primordialmente seu objetivo era o uso militar. Sua primeira aplicação no campo da geodesia foi em 1967; em 1974 a secretaria de defesa norte americana aperfeiçoou o sistema GPS, que passou a ser designado por NAVSTAR GPS (ANTUNES, 1995).

Em 1995 o sistema tornou-se totalmente operacional, mas foi disponibilizado para o uso civil somente em 2000.

O sistema NAVSTAR-GPS, conhecido somente por GPS, é constituído por três elementos para seu correto funcionamento de obtenção de dados: SEGMENTO ESPACIAL: é composto por uma constelação de 31 satélites, dos quais 4 satélites são reservas e no mínimo 27 satélites são operacionais ao mesmo tempo. Todos os satélites estão distribuídos de forma homogênea em uma órbita de 20.200km da terra (FURTADO, 2014, p. 25-26).

A Figura 3 mostra o esquema do segmento espacial da rede de satélites do sistema NAVSTAR-GPS.

SEGMENTO DE CONTROLE: responsável pela operação do Sistema GPS. Sua principal função é atualizar a mensagem de navegação transmitida pelos satélites (TIMBO, 2000, p. 2).

SEGMENTO DO USUÁRIO: refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária para determinação de posição, velocidade ou tempo. São os

receptores, algoritmos, programas, metodologias e técnicas de levantamento (TIMBO, 2000, p. 3).

Os segmentos de controle e usuário podem ser compreendidos analisando pela análise da Figura 4, que ilustra de forma simplificada esses dois segmentos do sistema NAVSTAR-GPS.

O sistema NAVSTAR-GPS não é o único sistema de posicionamento terrestre; existem o sistema Glonass (Rússia), o sistema Galileo (União Europeia) e o sistema BeiDou (China). Sendo que esses dois últimos sistemas são mais recentes.

Os dois principais sistemas de posicionamento terrestre são o NAVSTAR-GPS e o Glonass, com uma rede de satélites que cobre todo o globo terrestre.

Segundo Philipe (2014) a rede de satélites para determinar a localização exata de um ponto usa o sistema de triangulação conforme a (Figura 5). Para isso são necessários três satélites que enviam sinal para o receptor na terra e, de acordo com o tempo que esse sinal leva para chegar até o receptor, a posição exata do ponto é triangulada.

Também é possível obter a altura em que o ponto se encontra a partir do nível do mar; para isso, é necessário que o ponto receptor esteja conectado a um quarto satélite (PHILIPPE, 2014).

Para a locação dos pontos encontrados no levantamento com o GPS é necessário o uso de um sistema de referência. Atualmente, no Brasil, foi padronizado um único sistema de referência terrestre, que é o SIRGAS-2000.

O sistema de referência é composto por uma figura geométrica representativa da superfície terrestre, posicionada no espaço, permitindo a localização única de cada ponto da superfície em função de suas coordenadas tridimensionais materializadas por uma rede de estações geodésicas. Coordenadas como latitude, longitude e altitude, necessitam de um sistema geodésico de referência para sua determinação (IBGE).



Figura 3 – Segmento espacial. Fonte: Internet domínio público.

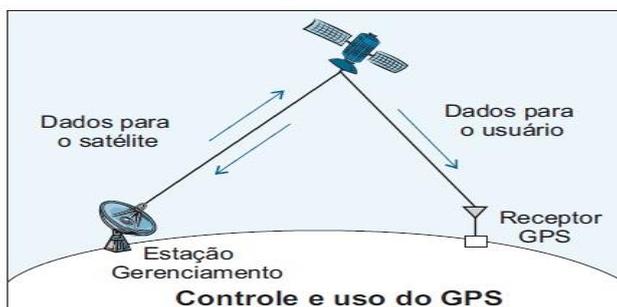


Figura 4 – Segmento de controle e usuário. Fonte: Internet domínio público.

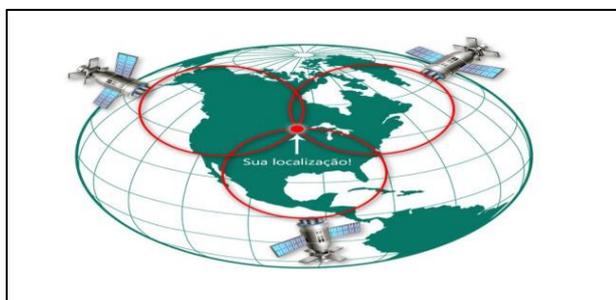


Figura 5 – Triangulação da Posição. Fonte: Internet domínio público.

Levantamento da área com o GPS

O levantamento em campo com o GPS foi realizado da seguinte maneira: demarcou-se toda a área a ser levantada com piquetes (Figura 6), logo após foi posicionada a base, determinada a posição e configuração do GPS; em seguida, ocorreu uma calibração para analisar se a precisão do aparelho estava de acordo. Feito todo esse procedimento, iniciou-se o levantamento. A base permaneceu fixa até o levantamento de todos os pontos do terreno.

As antenas de todos os pontos, bem como as da base, foram colocadas em uma altura de 2,40m para padronização dos pontos; cada ponto estacionado foi deixado imóvel comunicando-se com a rede de satélites por no mínimo de 15 a 20 minutos (Figuras 7 e 8). Logo após esse procedimento, o receptor GPS foi retirado do ponto já levantado e instalado no próximo ponto, sucessivamente, até o levantamento de toda a área. Ao todo, foram levantados sete pontos além da base.

Após o levantamento em campo os dados foram descarregados no computador e processados pelo programa EzSurv, gerando o resultado de cálculo dos pontos que segue no memorial descritivo. Em seguida, para o desenho planimétrico (Figura 9) foi utilizado o AutoCAD 2015.



Figura 6 – Demarcação da área. Fonte: autores.



Figura 7 – Configuração do GPS. Fonte: autores.



Figura 8 - Instalação dos pontos GPS. Fonte: autores.

As coordenadas UTM da tabela abaixo foram obtidas por meio do relatório do programa EzSurv e a planta foi projetada a partir dessas coordenadas pelo AutoCAD 2015.

Mapa GPS

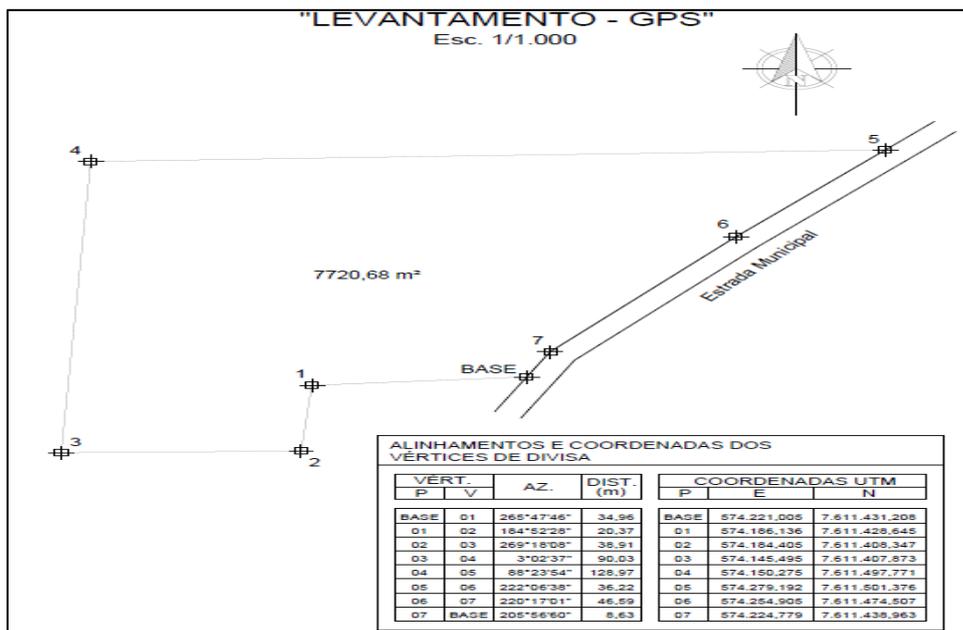


Figura 9 – mapa planimétrico GPS. Fonte: autores.

Desvio padrão

Desvio padrão é o grau de variação sobre um conjunto de elementos. Deste modo, a seguir é exemplificado o desvio padrão dos erros encontrados nas coordenadas X e Y dos pontos no levantamento pelo GPS.

Coordenadas em x (m)

P1=0,006 P2=0,007 P3=0,006 P4=0,006 P5=0,006 P6=0,005 P7=0,007

Média $\bar{x} = 0,006143$

Tabela 1 – Desvio padrão em x.

ERROS (m)	Ni	$(X - \bar{x})^2 \cdot Ni$
0,005	1	$(0,005 - 0,006143)^2 \cdot 1 = 0,000001306$
0,006	4	$(0,006 - 0,006143)^2 \cdot 4 = 0,000000081$
0,007	2	$(0,007 - 0,006143)^2 \cdot 2 = 0,000001468$
	Total= 7	$\Sigma = 0,000002855$

$$M = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x})^2 \cdot Ni}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0,000002855}{6}} = 0,00069 \text{ m}$$

Coordenadas em y (m)

P1=0,006 P2=0,011 P3=0,008 P4=0,006 P5=0,006 P6=0,005 P7=0,006

Média $\bar{x} = 0,006857$

Tabela 2 – Desvio padrão em y.

ERROS (m)	Ni	$(Y - \bar{x})^2 \cdot Ni$
0,005	1	$(0,005 - 0,006857)^2 \cdot 1 = 0,000003448$
0,006	4	$(0,006 - 0,006857)^2 \cdot 4 = 0,000002937$
0,008	1	$(0,008 - 0,006857)^2 \cdot 1 = 0,000001306$
0,011	1	$(0,011 - 0,006857)^2 \cdot 1 = 0,000017164$
	Total= 7	$\Sigma = 0,000024855$

$$M = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (Y - \bar{x})^2 \cdot Ni}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0,000024855}{6}} = 0,00203 \text{ m}$$

Fonte: autores.

A NBR 13133 (1994) não fornece nenhum parâmetro para comparação do resultado do desvio padrão; ela somente indica a fórmula para que se obtenha o valor do desvio padrão.

Porém, com a comparação do resultado obtido no desvio padrão e a dimensão da área encontrada no levantamento, percebe-se um valor muito

pequeno que não interfere no resultado encontrado. Logo, fica comprovado que o levantamento com o aparelho GPS foi bastante preciso.

Estação Total

A estação total consiste em uma combinação de um teodolito e um distanciômetro, junto com um processador ou microprocessador embutido (MCCORMAC, 2014, p.154).

Segundo McCormac 2014, todos os trabalhos que antes eram realizados com teodolitos podem ser melhor e mais rapidamente executados com a estação total. A estação total lê automaticamente os ângulos horizontais, verticais e a distância, seu microprocessador calcula os dados do ponto visado e mostra esses valores no visor da estação total. Tais dados podem ser salvos na própria estação ou armazenados externamente.

Tipos de Estação Total

Quando a estação total foi lançada no mercado, havia três modelos de equipamentos disponíveis: manuais, semiautomáticas e automáticas. Atualmente, as duas primeiras são consideradas ultrapassadas, e somente a automática é utilizada.

ESTAÇÃO TOTAL MANUAL: com esse instrumento era necessário ler o ângulo horizontal e vertical manualmente, isto é, a olho. Os únicos valores lidos automaticamente eram as distâncias inclinadas (MCCORMAC, 2014, p.155).

ESTAÇÃO TOTAL SEMIAUTOMÁTICA: para esse instrumento, o usuário tinha que ler o círculo horizontal manualmente; no entanto, a leitura do círculo vertical era realizada de maneira eletrônica e os valores mostrados digitalmente (MCCORMAC, 2014, p.155).

ESTAÇÃO TOTAL AUTOMÁTICA: mede eletronicamente ângulos verticais e horizontais; mede distâncias inclinadas, calcula as componentes horizontais e verticais e determina as coordenadas dos pontos observados (MCCORMAC, 2014, p.155).

Levantamento com Estação Total

Com o terreno todo demarcado com piquetes, o próximo passo foi estacionar a estação total sobre o ponto onde no levantamento anterior se encontrava a base do GPS.

Primeiramente, fixou-se o tripé sobre o piquete no solo de forma que a base estivesse o máximo possível na horizontal; após, colocou-se a estação total sobre a base do tripé e usando o parafuso central, a estação total foi fixada ao tripé; em seguida, com a ajuda do prumo óptico da estação total, o aparelho foi colocado exatamente no centro no piquete.

O próximo passo foi o nivelamento do aparelho. Primeiramente, verificou-se se o nível circular se encontrava no centro. Verificando-se que estava um pouco fora, o aparelho foi ajustado de forma que ficasse totalmente no centro. Logo após, foi ajustado o nível de bolha tubular com o auxílio dos parafusos calantes localizados na base do aparelho. Por final verificou-se se o equipamento não saiu do centro do piquete e se todos os outros processos de nivelamento já citados acima continuavam corretos.

Após todo esse processo de estacionamento e nivelamento da estação total, o aparelho foi ligado e foi criado um novo trabalho para o levantamento que será executado. Primeiramente foi inserido os dados da coordenada da base (neste caso foi usado $N=1000m$ e $E=1000m$) e a altura em que o aparelho se encontrava do solo; após esses dados foram salvos na memória do aparelho (Figura 10). O próximo passo era indicar qual o ponto que seria visado e a altura em que o prisma se encontrava (utilizado $2,50m$).



Figura 10 – Configuração da estação total. Fonte: autores.



Figura 11 - visada do ponto. Fonte: autores.



Figura 12 – Prisma. Fonte: autores. Fonte: autores.

Em seguida foi realizada a visada e leitura do ponto (Figuras 11 e 12), gravando os dados da leitura na memória do aparelho; deste modo, foram feitos ponto por ponto até o levantamento de toda a área.

Após todo esse trabalho de campo descarregaram-se os dados da estação total no computador e gerou-se a Tabela 3, que segue abaixo.

Para as coordenadas na base, no momento do levantamento, foi imposta que elas seriam respectivamente:

N= 1000,00 m

E= 1000,00 m

Tabela 3 – Dados da estação total.

PONTO	AZIMUTE	VERTICAL	DISTÂNCIA INCLINADA (m)	DISTÂNCIA REDUZIDA (m)	X (m)	Y (m)	E (m)	N (m)
1	265°47'46"	93°40'59"	35,027	34,955	-34,861	-2,562	965,139	997,438
2	238°01'03"	92°48'20"	43,212	43,160	-36,609	-22,860	963,391	977,140
3	252°48'33"	93°52'43"	79,196	79,015	-75,485	-23,353	924,515	976,647
4	313°15'43"	93°15'21"	97,283	97,126	-70,730	66,564	929,270	1066,564

5	39°40'37"	89°07'48"	91,160	91,150	58,195	70,154	1058,195	1070,154
6	38°03'00"	88°05'56"	55,012	54,982	33,888	43,297	1033,888	1043,297
7	25°57'43"	87°50'51"	8,620	8,626	3,774	7,750	1003,774	1007,750

Fonte: autores.

As distâncias reduzidas da tabela acima foram encontradas por meio da fórmula abaixo, e os valores encontrados são as distâncias entre a base e o ponto visado pelo método de irradiação (Figura 13).

$$P = \text{Sen}(\text{ang. Vertical}) \times \text{distância inclinada} = \text{distância reduzida}$$

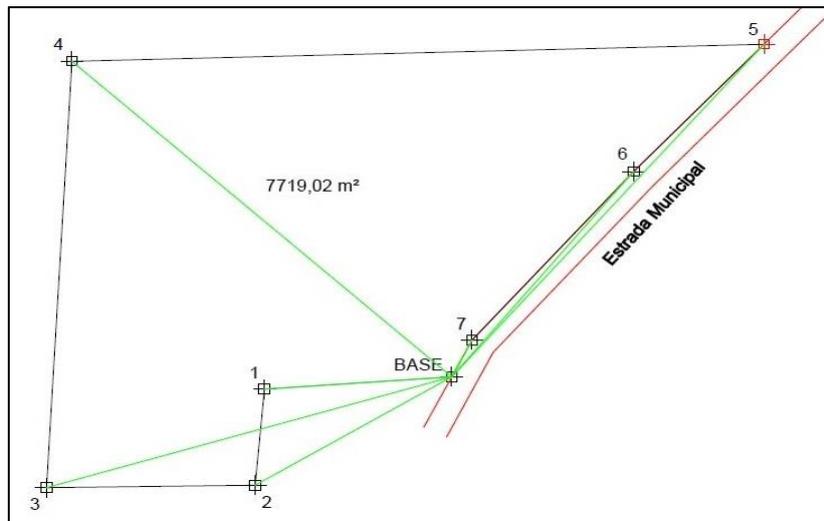


Figura 13 – mapa da irradiação (Sem Escala). Fonte: autores.

Mapa estação total

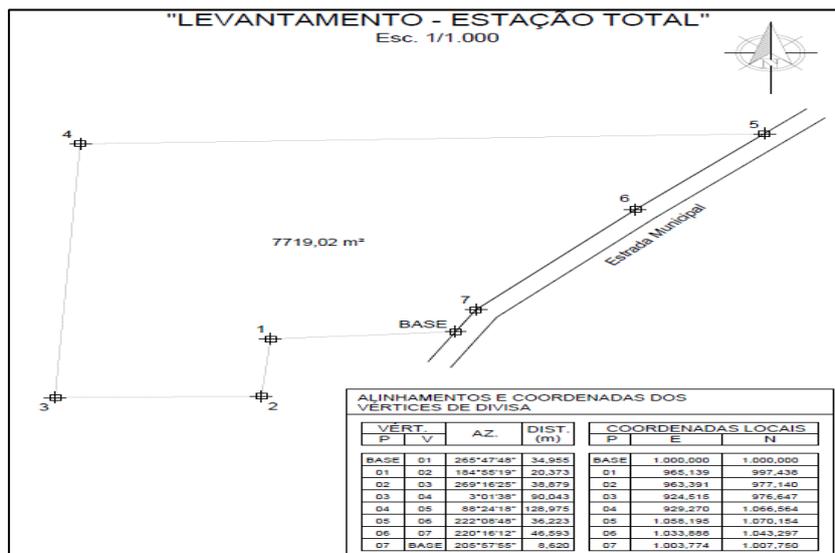


Figura 14 – mapa planimétrico estação total. Fonte: autores.

Análise dos resultados

As distâncias de ponto a ponto nos mapas em planta (Figuras 9 e 14) mostrados no presente artigo, foram obtidas após o lançamento das coordenadas dos levantamentos topográficos no AutoCAD 2015; com o auxílio do mesmo software por meio gráfico, foram adquiridas as respectivas distâncias de ponto a ponto que constam nas tabelas dos mapas de cada levantamento.

Como pode ser analisado nos mapas aqui apresentados, os valores dos azimutes e distâncias de ponto a ponto não são totalmente idênticos nos dois métodos de levantamento topográfico utilizados, mas essas diferenças foram mínimas. Pode-se concluir, portanto, que os dois levantamentos são válidos, pois tais diferenças não causam grande variação da área total obtida.

Como já foi mencionado, os dois resultados obtidos da área foram bem próximos com uma diferença de 1,66 m² na área total dando uma variação percentual de apenas 0,02%; o valor é tão pequeno que não chega a ser considerado um erro. Tal variação pode ter ocorrido devido a algum descuido no momento do levantamento, como nível do prisma fora do centro entre outros fatores externos; no entanto, essa variação percentual indica que o erro não foi significativo.

$$\Delta\% = \frac{7720,68 - 7719,02}{7720,68} \times 100 = 0,02\%$$

Δ = Variação percentual.

Apenas as coordenadas dos pontos apresentaram certa discordância em seus valores; porém, isso ocorre porque os valores das coordenadas GPS estão em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e indicam o valor da coordenada no globo terrestre. Já os valores das coordenadas da Estação Total estão no plano topográfico local, pois os valores da base da Estação Total foram impostos, como já foi dito anteriormente neste artigo; através desses valores impostos e com as leituras dos ângulos e distâncias de cada ponto, foram obtidas as suas coordenadas.

No entanto, para o trabalho aqui apresentado são objetos de análise os aparelhos e a área total do terreno obtida em cada um dos levantamentos. E com os dois métodos de levantamento é possível alcançar coordenadas capazes de obter a área total do terreno, logo essa discordância nos valores das coordenadas é irrelevante.

Deste modo, com a análise de cada levantamento e o aparelho nele usado, é possível enfatizar alguns pontos nos quais um se destaca sobre o outro.

Eficiência: neste quesito os dois aparelhos foram bastante eficientes, como pode ser analisado por meio dos dois resultados das áreas obtidos, que são muito próximos.

Rapidez e eficácia: neste item a estação total se destaca em relação ao GPS, pois o levantamento com a estação total para a área escolhida foi realizado de maneira mais rápida quando comparado ao GPS, pois os receptores GPS necessitavam ficar estacionados de 15 a 20 minutos em cada ponto do terreno. No entanto, isso ocorreu para a área escolhida no presente artigo, que não possuía dimensões muito extensas. Se a área possuísse grandes dimensões e para o levantamento com a estação total fosse necessário estacionar o equipamento em vários pontos para a visada de toda a área, o GPS seria muito mais adequado e rápido.

Praticidade: neste item o GPS se destaca com toda certeza, pois somente uma única pessoa pode levantar com o GPS desde pequenas até grandes áreas, enquanto com a estação total seriam necessárias no mínimo duas pessoas, uma para manusear a baliza com o prisma e outra para fazer as leituras no aparelho.

Conclusões

Para o levantamento da área escolhida no presente artigo pode-se dizer que os dois equipamentos seriam viáveis, devido à eficiência dos mesmos, como já foi analisado. Em relação à rapidez, a estação total destacou-se sobre o GPS e no quesito praticidade, o GPS superou a estação total.

No mercado atual o custo para aquisição desses equipamentos gira em torno de R\$15.000,00 para uma estação total e R\$25.000,00 o par do GPS com

antenas e acessórios; ou seja, relacionando os resultados obtidos com o custo de cada equipamento, pode-se concluir que para a área escolhida para o trabalho aqui apresentado, a estação total possui um melhor custo benefício.

Portanto, pode-se concluir que, para a escolha do equipamento a ser utilizado no levantamento da área aqui escolhida ou de qualquer outra área com dimensões parecidas deve-se sempre levar em conta qual a necessidade do trabalho. Se a prioridade for a rapidez, aconselha-se a estação total, porém se a necessidade for a praticidade o GPS é o mais aconselhável, pois como já foi dito uma única pessoa levanta toda a área.

Como os dois equipamentos utilizados para o levantamento topográfico levaram a um resultado satisfatório, conclui-se que cabe ao profissional que realizará o levantamento, analisar qual o método mais adequado, considerando a área em que o trabalho será realizado, além de analisar a dimensão da área, o relevo do terreno, o entorno da área e também a existência de alguma edificação ou benfeitorias na mesma.

Propostas para trabalhos futuros

Os dois métodos de levantamento apresentados no presente artigo foram realizados somente em planimetria; como proposta para melhoramentos futuros, o mesmo processo pode ser desenvolvido também em altimetria, para obtenção mais completa das dimensões e relevo da área; assim como aplicar mudanças nas metodologias de levantamento das áreas.

Por fim, podem ser analisadas algumas variáveis dos levantamentos, como exemplo na tabela abaixo:

Tabela 4 – Variáveis dos levantamentos.

VARIÁVEIS CONTROLADAS	VARIÁVEIS NÃO CONTROLADAS
Piquetes no mesmo local nos levantamentos.	Piquetes em diferentes locais nos levantamentos.
Levantamento de uma única área por dois métodos.	Levantamento de áreas diferentes.
Mesma equipe para os dois levantamentos.	Variar a equipe em cada levantamento.
Mesmo clima nos dois levantamentos.	Levantar a área com climas variados.

Mesma vegetação nos dois levantamentos.	Levantamento em áreas com diferentes tipos de vegetação ou até edificações.
---	---

Fonte: autores.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

_____. *NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação*. Rio de Janeiro, 2002. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13133: Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ANTUNES, Carlos. *Levantamentos topográficos*. 1995. Engenharia Geográfica – Universidade de Lisboa. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos914/levantamentos-topograficos-apontamentos/levantamentos-topograficos-apontamentos.pdf>>. Acessado em: 24 mar. 2015.

AUTODESK. *AutoCAD 2015*. Versão 68 bits. Autodesk, 2015.

BORGES, Alberto de Campos. *Topografia aplicada à engenharia civil*. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2013.

FURTADO, André Luiz dos Santos, et al. *Geotecnologias e Geoinformação*. Brasília: Embrapa, 2014.

IBGE. *Perguntas mais frequentes*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#1>>. Acessado em: 03 mai. 2015.

MCCORMAC, Jack. *Topografia*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

PHILIPPE, Gabriel. *Como funciona o GPS?* Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/12406-como-funciona-o-gps>>. Acessado em: 02 abr. 2015.

RODRIGUES, Darcy Arverino. *Evolução dos equipamentos topográficos aliados a qualidade da construção civil*. 2003. Monografia (Graduação em engenharia civil) – Universidade Anhembi Morumbi. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-03/civil-31.pdf>>. Acessado em: 15 mar. 2015.

TECHGEO, EZSurv. *Versão 2.40*. OnPOZ, 2015.

TIMBO, Marcos A. *Levantamento através do sistema GPS. 2000*. Departamento de Cartografia – UFMG. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/cart01/levantamentogps_timbo.pdf>. Acessado 10 abr. 2015.

Trabalho em altura envolvendo andaimes simplesmente apoiados

Working in high places using leaning scaffolding

Pablo Diego C. Scarpino¹
Guilherme Meira Brinas Francisco¹
Michael Barbieri Martins¹
César Roberto Menqui¹
Sergio Alves dos Santos Jr¹
Avelino Rocha²

RESUMO

Com o crescimento da construção civil no Brasil, o número de acidentes de trabalho tem aumentado e as quedas de altura são uma das principais causas dessas ocorrências. Um dos sistemas mais utilizados para execução de serviços são os andaimes, por serem sistemas móveis ou fixos que facilitam, assim, a instalação do mesmo na obra. Neste artigo são analisadas normas que regem trabalho em altura e quadros estatísticos de acidentes; por meio de verificações *in loco*, com andaimes simplesmente apoiados, busca entender quais os fatores que contribuem para o alto índice de acidentes. Constatando que, os índices podem ser reduzidos se houver melhor administração e maior cumprimento das normas por meio de fiscalizações.

Palavras-Chave: Segurança; Análise; Andaime; Normas.

ABSTRACT

With the growth of civil construction in Brazil, the number of accidents at work has increased, and high falls are one of the main causes of these occurrences. One of the most used system for the running services are the scaffolding, for being mobile or fixed systems that facilitate, thus, the installation of the same in the job. This article is an analysis of the standards governing working at height as also statistical tables of accidents, and through local checks, with scaffolding simply supported, seeks to understand what factors contribute to the high rate of accidents. Notifying that the indices can be reduced if there is better administration and greater compliance with standards through inspection.

Key words: Security; Analysis; Scaffolding; Standards.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho, Docente do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

Introdução

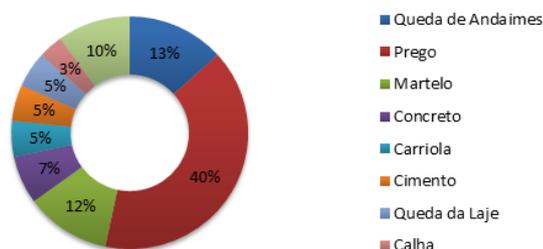
Segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social, lançado em janeiro de 2015 referente a 2013, diariamente, mais de sete pessoas por dia perdem a vida em acidentes de trabalho; no mesmo período, foram registrados 717.911 acidentes, sendo 2.792 fatais. O estado de São Paulo lidera este ranking, totalizando cerca de 248.922 casos, sendo o setor da construção civil, principal responsável pela maioria dos acidentes.

Com base em uma das pesquisas da Inspeção Geral do Trabalho (IGT), verificou-se que a principal causa desses relatos envolve a queda de trabalhadores em diferentes níveis de altura. Esta área envolve aproximadamente 39,00% de todos os chamados.

Dentre os inúmeros riscos que fazem parte das atividades presentes na indústria da construção civil, o risco de queda em altura representa grande número de acidentes e muitos deles fatais (SANTOS et al., 1990; MINAYO-GOMEZ, 1994; WALDVOGEL, 2003; SANTANA, OLIVEIRA, 2004; SILVEIRA et al., 2005; MANGAS; MINAYO-GOMEZ; THEDIM-COSTA, 2008). Estes acidentes também geram sérias consequências judiciais como indenizações e interdição da obra que causam atrasos de cronograma. Segundo o Centro de Referência em Saúde do Trabalhador Regional de Araçatuba (CEREST), o motivo mais apontado para este acidente é a execução de trabalho envolvendo algum tipo de andaime, com aproximadamente 13% dos acidentes registrados, como demonstra o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Levantamento relativo aos acidentes de trabalho em Araçatuba/SP.

Causas de Acidentes na Construção Civil na Cidade de Araçatuba/SP



Fonte: CEREST - 2015.

Dentre as inúmeras atividades que ocasionam risco de queda aos trabalhadores da construção civil, a queda de andaimes é uma das que mais se destaca; vale ressaltar que o item 15 da NR18 (18.15 Andaimes) aborda somente este tipo de atividade.

Os andaimes são considerados proteção coletiva provisória, podendo ser fixos ou móveis, cuja finalidade é facilitar o alcance dos operários em pontos elevados, com segurança. No entanto, para que o colaborador tenha total resguardo é fundamental conhecer as Normas Regulamentadoras (NR) da atividade que desempenhará por meio de cursos obrigatórios como: a NR 35 que aborda a atividade executada em altura; NR 6 relata sobre Equipamentos de Proteção Individual (E.P.I's); o item 18.15 da NR18 abrange especificamente as atividades realizadas em andaimes e na NBR 6494 (ABNT, 1990) faz-se uma abordagem sobre a segurança estrutural dos colaboradores que ali trabalham.

A falta de atenção na execução dos serviços, o desconhecimento de tais normas, a precariedade dos equipamentos utilizados e a facilidade em adquirir o equipamento sem a necessidade de uma qualificação, levam o operário a colocar sua vida em risco.

Devido aos altos índices de acidentes, surge a necessidade de se elaborar um estudo, a fim de verificar condições estruturais, riscos eminentes do trabalho em andaimes, dificuldades na montagem, desmontagem e utilização; além de verificar o despreparo dos colaboradores na execução destes serviços. Por meio de visitas em campo, são verificadas irregularidades e apontadas as soluções condizentes com a norma.

Andaimes na construção civil

De acordo com a NBR 6494 (ABNT, 1990), andaimes são plataformas necessárias à execução de trabalhos em locais elevados que não podem ser executados em condições de segurança a partir do piso. Em geral, são utilizados em serviços de construção, reformas, demolição, pintura, limpeza e manutenção.

Os andaimes são essenciais em obras nas quais os colaboradores tenham que executar serviços em níveis superiores a dois metros do solo, oferecendo

condições seguras para instalação da estrutura. Sua montagem deve ser efetuada por um responsável qualificado. Para o colaborador que for desempenhar a atividade, é imprescindível ter Atestado de Saúde Ocupacional (ASO), além do curso para trabalho em altura com carga horária mínima de 8 horas, que contemple os requisitos dos itens 35.2.2 e 35.3.2 da NR 35, citados a seguir, pois são necessários tanto para montagem, quanto execução do trabalho em altura, cujo intuito é minimizar os riscos de acidentes.

Cabe aos trabalhadores:

a) cumprir as disposições legais e regulamentares sobre trabalho em altura, inclusive os procedimentos expedidos pelo empregador;

b) colaborar com o empregador na implementação das disposições contidas nesta Norma;

c) interromper suas atividades exercendo o direito de recusa, sempre que constatarem evidências de riscos graves e iminentes para sua segurança e saúde ou a de outras pessoas, comunicando imediatamente o fato a seu superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis;

d) zelar pela sua segurança e saúde e a de outras pessoas que possam ser afetadas por suas ações ou omissões no trabalho. Disposição dos trabalhadores a qualquer tempo. (SZABÓ JR; 2015 NR 18, item 35.2.2, p.809).

Considera-se trabalhador capacitado para trabalho em altura aquele que foi submetido e aprovado em treinamento, teórico e prático, com carga horária mínima de oito horas, cujo conteúdo programático deve, no mínimo, incluir:

a) normas e regulamentos aplicáveis ao trabalho em altura;

b) análise de Risco e condições impeditivas;

c) riscos potenciais inerentes ao trabalho em altura e medidas de prevenção e controle;

d) sistemas, equipamentos e procedimentos de proteção coletiva;

e) equipamentos de Proteção Individual para trabalho em altura: seleção, inspeção, conservação e limitação de uso;

f) acidentes típicos em trabalhos em altura;

g) condutas em situações de emergência, incluindo noções de técnicas de resgate e de primeiros socorros. (SZABÓ JR; 2015 NR 18, item 35.3.2, p.809).

É possível verificar, no entanto, que tais normas não estão sendo seguidas, pois o quadro estatístico de acidentes relacionados à queda de altura é elevado; as quedas em andaimes foram responsáveis por grande parte dos acidentes ocorridos

na construção civil no Município de Araçatuba no ano de 2015, segundo dados do CEREST. Com isso, levantaram-se algumas possibilidades sobre o que estaria ocasionando tais acidentes:

- Falta de sinalização;
- Excesso de confiança;
- Falta de investimento em segurança do trabalho;
- Condições estruturais do equipamento;
- Falta de fiscalização;
- Descuido da administração;
- Falta de uso de E.P.I's;
- Falta de atenção;

A partir das referidas questões, houve o interesse de verificar o trabalho em altura com andaime, com intuito de compreender o que realmente provoca tais acidentes. Os tipos de andaimes avaliados foram os apoiados fixos e móveis; são os mais utilizados em obras de pequeno e médio porte por serem encontrados facilmente em empresas de locação de equipamentos para construção.

Andaimes simplesmente apoiados

Os andaimes simplesmente apoiados podem ser metálicos ou de madeira, fixos ou móveis e devem ter montantes apoiados sobre bases capazes de resistir às cargas transmitidas; devem ser compatíveis com a resistência do solo. As bases variam de acordo com a necessidade, tanto os rodízios quanto as sapatas têm o modelo fixo e o modelo ajustável; na Figura 1, é exposto um exemplo do andaime simplesmente apoiado metálico com rodízios.



Figura 1- Andaime simplesmente apoiado móvel. Fonte: Empresa Construfácil Andaimes.

Método de montagem

Com o intuito de discutir NBR 6494 (ABNT, 1990) a respeito dos andaimes simplesmente apoiados, executou-se uma verificação de montagem do andaime em uma empresa ligada à construção civil na cidade de Birigui/SP.

Na Tabela 1, estão discriminadas as peças utilizadas. Todos os andaimes foram disponibilizados pela própria empresa.

Tabela 1- Materiais utilizados na simulação da montagem do andaime.

Material Utilizado	Quantidade
Painel tubular metálico (1,50 x 1,00) m	10
Plataforma metálica com piso antiderrapante (0,37 x 1,50) m	4
Diagonal metálica de travamento	2
Rodízio de poliuretano	4
Guarda-corpo sem porta	3
Guarda-corpo com porta	1
Escadas de (2,00) m	3

Fonte: autores.

Para execução da montagem do andaime simplesmente apoiado, é necessário mais de um operador e ambos devem ser legalmente habilitados, pois os riscos e dificuldades são grandes. As dimensões dos painéis diagonais e plataformas, dificultam o encaixe e locomoção das peças por um único indivíduo. Esse aspecto está apontado no item 3.3.5 da NBR 6494 (ABNT, 1990): *“Os serviços em andaimes nunca devem ser realizados por uma única pessoa. Deve haver pelo menos uma outra pessoa no local de serviço para auxiliá-la em caso de emergência.”* (NBR 6494/1990, item 3.3.5, p.3).

A estrutura do andaime deve estar devidamente contraventada, para que em sua movimentação, não se deforme. Para cumprir esse requisito utilizam-se uma diagonal na base dos painéis e outra, 3 metros acima em sentido oposto, tendo em vista que a norma não especifica regras para esta situação, apenas relata que é necessário o contraventamento.

A ancoragem da estrutura deve ser feita através de amarrações na base e no topo em um ponto fixo com a finalidade de evitar frequência de oscilações, proporcionando estabilidade na estrutura e seguindo instruções do fabricante.

Na verificação realizada, os painéis estavam em boas condições de uso, porém, havia uma plataforma comprometida, como demonstra a Figura 2; essa avaria possivelmente foi causada por um esforço superior ao suportado pela peça. Nessa condição, o piso não está apto a ser utilizado, a norma estabelece que as peças devem estar em perfeitas condições de uso a fim de manter suas características estruturais: *“Todo o equipamento utilizado deve ser de boa qualidade e encontrar-se em bom estado de uso, atendendo às normas brasileiras.”* (NBR 6494/1990, item 3.1.3, p.2).



Figura 2 - Plataforma em situação inadequada: peça com fissura central. Fonte: autores.

Tais plataformas devem ser fixadas a fim de evitar quedas por esforços submetidos; devem possuir forração completa e aderência necessária para que o operador não escorregue. As plataformas podem ser de madeira ou metálicas. Em relação às plataformas de madeira, devem estar secas, serem de boa qualidade e não apresentarem nós e rachaduras que comprometam sua condição de uso. Devem ter largura mínima de 0,60 m e possuir altura livre mínima de 1,75 metros; as que não possuem encaixe aos montantes, devem ter, em ambos os lados, um balanço que não ultrapasse 20 cm. As plataformas de serviço nos andaimes devem ter uma largura mínima de 0,60 m com altura livre mínima de 1,74 m. (NBR 6494/1990, item 4.5.6, p.5).

As bases utilizadas, foram rodízios com travamento individuais encaixadas nos primeiros montantes; o sistema de travamento não era eficaz proporcionando movimentações indesejáveis.

Além dos painéis, plataformas e bases o andaime devem possuir guarda-corpos para que proporcionem segurança, limitando a área de trabalho. A NBR 6494 (ABNT, 1990) estabelece que sejam instalados acima da base de trabalho com 0,50 m e 1,00 m de altura em todo perímetro do andaime; possuem rodapés de 0,15 m de altura e que seu conjunto resista à carga horizontal e pontual de 350 N aplicada em seu ponto mais desfavorável na parte superior.

No final da montagem, verificou-se que a NBR 6494 (ABNT, 1990) estabelece todos os critérios de montagem e o item 18.15.2.5 da NR 18 complementa, dizendo que os fabricantes devem oferecer instruções técnicas de posições de ancoragem e estroncamentos, além de especificarem os materiais e demonstrar o sistema de montagem. A Figura 3 demonstra o andaime finalizado.



Figura 3 - Andaime finalizado. Fonte: autores.

Segurança na utilização dos andaimes

Para que um trabalho seja considerado bem elaborado e bem executado, precisam ser considerados os riscos iminentes em cada etapa. Para isso, cabe ao empregador realizar uma Análise de Risco (AR) descrevendo todos os riscos do ambiente, os equipamentos e materiais a serem utilizados. Em seguida, o próprio empregador faz a emissão da Permissão de Trabalho (PT) que diz o procedimento a ser seguido e quais colaboradores estão aptos a executarem o trabalho, conferindo os determinados cuidados prescritos pela norma.

Outros pontos a serem controlados são, por exemplo, o uso dos equipamentos de proteção individual (EPI) corretos, pois são essenciais para segurança do operador, na Figura 4 estão exemplificados os E.P.I's que devem ser utilizados na execução de serviços de risco.



Figura 4 - EPI's necessários para execução de trabalhos de risco. Fonte: Empresa JVL Andaimos. Disponível em jlvandaimos.blogspot.com.br

Esses equipamentos devem estar em perfeitas condições de uso e disponíveis para os trabalhadores. Todo perímetro onde estiver localizado o andaime, deve ser isolado com cones e fita zebra para resguardar a integridade física de indivíduos que não fazem parte da equipe responsável pela execução do trabalho.

Caso existam redes elétricas energizadas próximos ao andaime, deve acontecer o desligamento ou o afastamento dos lugares energizados; caso sejam utilizados sistemas elétricos, devem ser em cabos isolados. A movimentação vertical dos componentes deve ser feita através de içamento para evitar a queda de equipamentos. Os materiais utilizados no serviço não devem ser empilhados; toda sobra de material que estiver sobre a plataforma de serviço deve ser retirada, a movimentação horizontal do equipamento com operadores sobre a estrutura é proibida.

Análise em campo de andaimes simplesmente apoiados

Com embasamento nas normas e conhecimentos do método de montagem, foram feitas visitas em obras de pequeno e médio porte, que não ultrapassam o número de 20 colaboradores. Deste modo, não foi necessária a aplicação do Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho (PCMAT) e sim, o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) que visa preservar a saúde e

integridade física dos trabalhadores, avaliando os perigos e riscos que possam existir no trabalho.

Na maioria dos casos de obras pequenas, os colaboradores não são submetidos a cursos que os habilitam a executarem montagem dos andaimes, bem como executarem o trabalho em altura. Entende-se que há uma falha por parte da fiscalização nesses tipos de obras, nas quais, pessoas não habilitadas têm fácil acesso ao equipamento o que ocasiona o seu mau uso por não seguindo a norma específica. *O dimensionamento dos andaimes, sua estrutura de sustentação e fixação, devem ser realizados por profissional legalmente habilitado.* (SZABÓ JR; 2015 NR 18, item 18.15.1, p.385).

As visitas foram realizadas em obras de Araçatuba-SP, no ano de 2015, verificando problemas e apontando ações que pudessem reverter tais irregularidades com a intenção de aplicar a NR 18. Abaixo estão os dois casos, mostrados nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 - Andaimos irregulares Fonte: autores.



Figura 6 - Andaime irregular.

Tabela 2 – Análise dos casos de campo.

Item	Foto	Não conformidade	Providência/Ação
18.15.6	Foto V e VI	Ausência de guarda-corpo e rodapé.	Guarda-corpo e rodapé onde for necessário.
18.15.9.1	Foto V e VI	Ausência de escada incorporada à estrutura.	Escada de acesso de acordo com a norma.
18.15.12	Foto V	Trabalhador não utiliza o cinto de segurança.	Treinar os trabalhadores e solicitar e fiscalizar o uso de cinto de segurança.
18.15.20	Foto V e VI	O acesso às plataformas de trabalho ocorre por “escalada” à estrutura.	Solicitar e fiscalizar o acesso de forma segura e de acordo com a norma.
18.15.2.6	Foto VI	As superfícies de trabalho dos andaimes não possuem travamento adequado.	Providenciar o travamento das superfícies de trabalho.
18.15.17	Foto VI	Fixação não adequada, sendo improvisadas com arames.	Fazer fixação correta por amarração e estrocamento a uma estrutura física.
18.15.27	Foto VI	A superfície dos andaimes estão em bases irregulares	Nivelar superfície para montagem da estrutura.
18.15.3	Foto V e VI	A plataforma de trabalho não possui forração completa.	Providenciar plataformas.
18.15.18	Foto V e VI	Torre com altura não permitida.	Providenciar pessoa habilitada para montagem correta da estrutura.

Fonte: autores.

No final da análise, verificou-se que ambas as estruturas não estão condizentes com a norma, como apresentado na Tabela 2. No entanto, foi possível verificar que nas fiscalizações necessárias não estão acontecendo e não há treinamento devido para execução da montagem.

Conclusão

Os acidentes relacionados à queda em altura na construção civil são expressivos; os resultados levantados demonstram que o principal meio das quedas em altura são os andaimes. Por meio de análises em campo, verificou-se que as normas referentes a montagem, desmontagem e execução de serviços em altura não estão sendo cumpridas. Este quadro pode ser revertido se houver maior fiscalização nas obras e maior aplicabilidade das normas por meio de cursos para qualificação profissional do operador.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6494: segurança nos andaimes*. Rio de Janeiro, 1990.

BALDO, C. *Índice de acidentes de trabalho no país segundo anuário estatístico da Previdência Social*. 2015. Disponível em: <<http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/dia-a-dia/noticia/2015/04/rio-grande-do-sul-tem-o-terceiro-maior-indice-de-acidentes-de-trabalho-no-pais-4749424.html>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

BRASIL. *Ministério do trabalho. Segurança e Saúde no Trabalho*. 2012. Disponível em: <www.portal.mte.gov.br/seg_sau/seguranca-e-saude-no-trabalho.htm>. Acesso em: 23 mai. 2015.

BRASIL. *Ministério da previdência social. Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho*. 2013. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/2015/01/estatisticas-anuario-estatistico-de-acidentes-do-trabalho-2013-ja-esta-disponivel-para-consutla/>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

CASA DO CONSTRUTOR (Brasil). *Manual de instruções de montagem e correta utilização*. Disponível em: <<http://www.casadoconstrutor.com.br/uploads/arquivos/manual-instrucoes-painel-metalico-andaime.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

CENTRO DE REFERÊNCIA EM SAÚDE DO TRABALHADOR REGIONAL DE ARAÇATUBA. *CEREST: estatísticas de acidentes de trabalho. Araçatuba*. 2014.

IGT (Brasil). Dados da pesquisa da Inspeção Geral do Trabalho Disponível em: <slideplayer.com.br/slide/387159/>. Acesso em: 28 ago. 2015.

JLV (Brasil). Disponível em: < <http://jlvandaim.es.blogspot.com.br/2011/01/como-trabalhar-com-seguranca-em.html>>. Acesso em: 03 out. 2015.

JÚNIOR, Adalberto Mohai Szabó. *Manual de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho*. 2015.

NORMA REGULAMENTADORA. *NR 18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção*. Brasil, 1978.

NORMA REGULAMENTADORA. *NR 35: trabalho em altura*. Brasil, 2012.

MECAN (Brasil). *Catálogo de peças e montagem de andaimes simplesmente apoiado*. Disponível em: <http://www.mecan.com.br/wp-content/uploads/2015/04/mecanfix_2014.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2015.

MECAN (Brasil). Disponível em: <<http://www.construfacilandaim.es.com.br/wp-content/uploads/2013/10/mecan.jpg>>. Acesso em: 03 out. 2015.

MECAN (Brasil). *Descrição do andaime simplesmente apoiado utilizado*. Disponível em: <<http://www.mecan.com.br/equipamentos/andaimes/andaime-tubular-mecanfix/>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

PINIWEB (Brasil). *Referente as principais causas de acidentes*, 2009. Disponível em: < <http://piniweb.pini.com.br/construcao/carreira-exercicio-profissional-entidades/pesquisa-aponta-principais-causas-dos-acidentes-nos-canteiros-de-obras-146022-1.aspx>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

SINDUSCON (Pará). *Referente as principais causas de acidentes*, 2009. Disponível em: < <http://www.sindusconpa.org.br/site/noticia.php?id=1839>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

SINTRACON (São Paulo). *Referente ao índice de acidentes*, 2015. Disponível em: <<http://www.sintraconsp.org.br/NoticiaDetalhe.asp?pageid=4890>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

Engenharia Mecânica

Projeto TILT e Lift Tabel

Project Tilt and Lift Table

Enrique BasterGalea¹
Gustavo Grigio Gabriel ¹
João Vitor Chiderolli¹
Jonathan Martins Camparoni¹
José Eduardo Rodrigues Dias ¹
Luiz Felipe Barbosa Ciola¹
Murilo Gonzalez Oliveira ¹
Fernando Gabriel Eguia Pereira Soares²
¹⁰Thiago Santana Aranha³

RESUMO

O projeto Tilt e LiftTable é uma plataforma que inclina a 45° e 60° graus para que sejam realizados testes de força G, centro de gravidade, e estabilidade no carro antes de testá-lo na pista, proporcionando uma maior segurança ao piloto. Outra finalidade que o projeto possui, é a elevação de um carro de formula SAE a 60 centímetros do solo para que seja feita manutenção no carro ou em peças mais pesadas. Esse projeto tem como diferença a elevação e inclinação, pois além de serem executadas na mesma plataforma, são executados os movimentos sem utilizar a força física do homem, pois conta com um sistema de atuador elétrico para que sejam realizados os movimentos com a força necessária, porém com a suavidade necessária.

Palavras-chave: Fórmula SAE, TiltTable, Força G, Plataforma, Atuador Elétrico.

¹ Acadêmicos do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba-SP, UniSalesiano.

² Engenheiro Civil, Mestre, Docente do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba

³ Engenheiro Mecatrônico, Docente do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

ABSTRACT

The Tilt and Lift Table project is a platform that tilts 45° and 60° degrees to perform the tests of G force, gravity center and stability in the car before be tested on the track to improve the pilot safety. Another purpose of the project is raising the platform till 60 cm. above the ground to do the maintenance of the car and other heavy parts. This project is as difference to lift and tilt, as well as running on the same platform, not use physical force of man, the structure has an electric actuator system so that the movements are made with the necessary strength, smoothness and accuracy.

Keywords: Formula SAE, Tilt Table, G Force, Platform, Electric Actuator.

INTRODUÇÃO

Atualmente com a evolução do projeto Fórmula SAE, que está cada vez mais presente nas faculdades mundiais, pesquisou-se algo que não só prevalecesse em ajudar o projeto da Universidade, mas que também pudesse ser útil no laboratório da mesma.

Em meio a vários projetos decidiu-se aperfeiçoar a TiltTable que é utilizada em umas das provas da competição.

Com esse projeto, pretende-se beneficiar a equipe Sale Racing, ao se fazer o teste da TiltTable antes para participar do campeonato. Como a mesa também irá levantar a 60 cm. perpendicular ao solo poderá também ser utilizado para levantar motores ou peças mais pesadas, facilitando a manutenção de equipamentos e demonstração didática.

Diferente das demais TiltTable, esta contará com um sistema elétrico e automatizado para fazer a elevação e inclinação.

Fundamentação teórica

Fórmula SAE

O Projeto Fórmula SAE é uma competição de desenvolvimento de produto, onde os estudantes devem conceber, projetar, fabricar, e competir com pequenos carros de corrida “estilo fórmula”. Iniciada no Texas em 1981, essa competição foi criada para promover uma oportunidade aos estudantes de nível superior para ganhar experiência no gerenciamento do projeto e construção, e para aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia. No Brasil, a primeira competição do Fórmula SAE ocorreu no ano de 2004

Conceito TiltTable

Nos dias atuais, a busca por segurança nos carros de corrida e de passeio são preocupações constantes de fabricantes ao redor do mundo. A categoria estudantil Fórmula SAE também se empenha em proteger e evitar acidentes com seus protótipos. A modalidade, desde o início de sua história, vem promovendo testes e análises de segurança sempre baseados em estudos científicos.

Um dos maiores riscos de acidentes que carros de corridas podem sofrer é em relação à falta de estabilidade em curvas. Os agravantes desse quadro são as altas velocidades e a altura do centro de gravidade do carro. Segundo estudos realizados pelos organizadores da competição os protótipos de Fórmula SAE não podem sofrer uma força G lateral superior a 1,7G.

Desta forma, era preciso saber se o carro teria estabilidade e como o piloto se comportaria em curvas mais acentuadas em alta velocidade. Portanto, para não expor o carro e o piloto ao perigo foi criada a TiltTable para fazer o teste, evitando possíveis acidentes e contratempos.

A TiltTable foi idealizada para simular estaticamente a capacidade que os protótipos de fórmula SAE tem de suportar aceleração lateral, deste modo, é possível testar a estabilidade e a altura do centro de gravidade, a partir de uma inclinação lateral. A inclinação de 60° se faz necessária para reproduzir as condições reais da pista sobre o carro e piloto.

Rolamento

O rolamento utilizado no projeto é do tipo fixo de uma carreira de esferas 6328. Suporta cargas radiais e pequenas cargas axiais. Sua capacidade de regulagem angular é limitada, sendo necessário um perfeito alinhamento entre o eixo e calha.

Foi realizado um cálculo para determinar a quantidade de massa (peso) que cada rolamento pode suportar.

$$\mathbf{F=m.g \Rightarrow m= \frac{F}{g}} \quad (1)$$

Onde:

F = força [N]

m = massa [kg]

g = gravidade [m/s²]

Aplicando a equação (1), é possível determinar que a massa é de:

$$m= \frac{13.200 \text{ N}}{9,81 \text{ m.s}^2} \Rightarrow m= 1.347 \text{ kg}$$

Atuador Linear Elétrico

Atuador linear elétrico é um dispositivo que converte o movimento de rotação de um motor de baixa voltagem de corrente contínua em um movimento linear, ou seja, movimento de empurrar e puxar.



Figura 1 - Conjunto do Atuador Elétrico. Fonte: autores.

Dessa forma, é possível levantar, ajustar, inclinar, empurrar ou puxar objetos pesados ou difíceis de alcançar com até 6KN de força, simplesmente pressionando um botão.

Além disso, proporciona uma circulação segura, tranquila e limpa com controle de movimento preciso. Os atuadores são eficientes e têm uma vida útil longa com pouca ou nenhuma manutenção e sendo mais efetivos referentes a custos, instalação e operação do que outros sistemas como os hidráulicos e pneumáticos.

Sua instalação é muito fácil, em comparação, por exemplo, com a de sistemas hidráulicos e ocupa muito menos espaço, uma vez que não têm bombas ou mangueiras, entre outros fatores.

A capacidade de se adaptar às necessidades específicas garante o bom funcionamento das soluções que são aplicadas em muitos aspectos diferentes de uma ampla variedade de aplicações e produtos.

Um atuador linear elétrico é constituído por um motor, uma engrenagem e um fuso, incluindo uma porca. Esse sistema pode incluir um ou mais atuadores, com uma caixa de comando e um dispositivo de controle para operar os mesmos de uma forma mais prática e fácil nos mais diversos tipos projetos.

Os atuadores lineares elétricos representam a solução perfeita quando se precisa de movimentos simples, com controle suave e preciso. Eles também podem ser integrados em sistemas de controle sofisticados, usando comunicação de dados tipo barramento. Obtendo-se assim feedback preciso da posição e controle sobre a aceleração e a velocidade.

Os sistemas de atuadores elétricos são silenciosos, limpos, não tóxicos e eficientes energeticamente. Eles atendem às demandas crescentes e à legislação referente a equipamentos que não causam danos ao meio ambiente.

Metalon de aço 1020

O aço 1020 é um tipo especial de aço carbono utilizado para propósitos gerais. Barras de aço 1020 são caracterizadas pela combinação de força e alta ductilidade, que é a habilidade do material em ser dobrado ou moldado. Esse tipo de aço é também conhecido pela sua empregabilidade em maquinarias. As barras de aço 1020 podem ser usadas para uma variedade de aplicações em engenharia e construções, incluindo eixos e peças automobilísticas, podendo ser soldadas facilmente através de métodos normais de soldagem.

O ponto de fusão do aço é de 1.515 graus Celsius. A barra pode ser trabalhada a frio ou endurecida de várias maneiras incluindo flexão, por métodos comuns de trabalho a frio.



Figura 2 - Metalon cortados e furados . Fonte: autores.

Materiais e métodos

Componentes do projeto

Alguns componentes são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Componentes utilizados no projeto.

Produto	Características
Metalon	Aço 1020 - 30x50mm
Rolamento	Serie 63/28
Parafusos	Allen aço carbono
Porca	Anti Travante
Eixo Maciço	Aço 1020 de 1"
Arruela	Nylon
Buchas	Aço 1020 de 3/4"
Chapa Xadrez	Aço Carbono
Atuadores Lineares	Elétricos
Unidade de Comando	Elétrica
Solda	Mig

Fonte: autores.

Fabricação

A fabricação de todo o projeto foi executada dentro das instalações do Laboratório de Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

As primeiras etapas foram analisar as diferentes possibilidades de desenvolver e executar o projeto da melhor forma possível. Após a confirmação do modelo a ser executado, foram desenvolvidos desenhos do projeto sendo feita uma análise computacional, executando várias simulações de cargas antes do projeto ser fabricado e montado.

O processo de fabricação propriamente dito, iniciou-se com a montagem da base, realizados os cortes do metalon nas medidas 30x50mm. Depois, realizou-se a montagem das duas bases com pontos de solda e ajustes até chegar ao esquadro. Foi utilizada vigas em "U", para deslizar os rolamentos, necessários para o movimento de inclinação e elevação da plataforma, finalizando com a soldagem na peça por completo.

Para fabricação das articulações, utilizou-se dois tubos de 30x50mm onde foi usinado quatro tarugos aço para ser soldado nas pontas, que receberam dois rolamentos de 28x68mm com especificação 6328 na mesma peça. Soldou-se duas

“orelhas” de chapa de aço com furação em cada uma delas para fixação do eixo, formando uma das peças do conjunto da articulação da plataforma.

Com o mesmo metalon das medidas da base foram fabricados os componentes de movimentação. Foi utilizado ferro trefilado usinado nas medidas de 19,05mm. externo e com uma furação de 10mm, utilizado como buchas, recebendo parafusos allenM10 para fixação da articulação na estrutura da plataforma.

Foi usada na estrutura superior da plataforma uma chapa de aço xadrez, soldada à base superior para finalizar a parte estrutural da plataforma. Na Figura 3 apresenta-se o projeto da mesa da TiltTable.

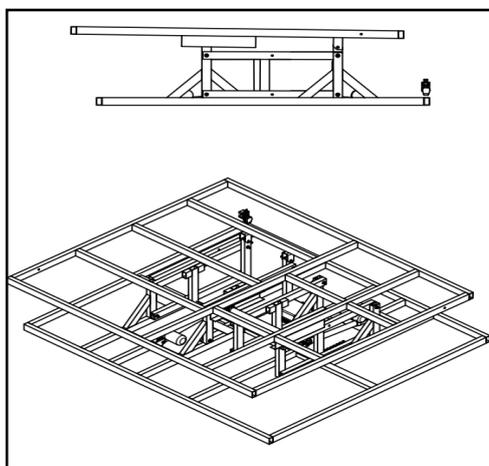


Figura 3 – Projeto da mesa da TiltTable. Fonte: autores.

Na Figura 4 vemos o desenho do projeto da TiltTable, com a indicação do ângulo limite de $60,94^\circ$.

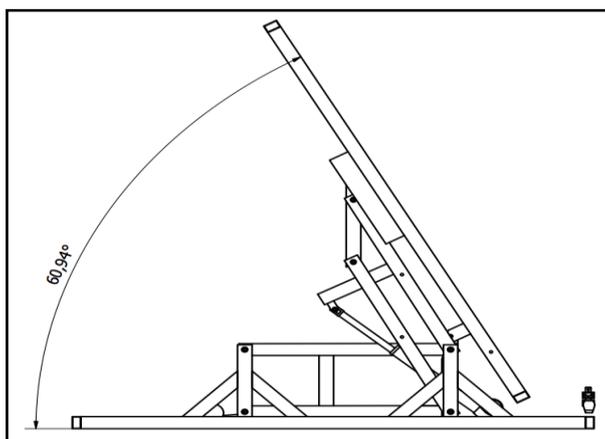


Figura 4 – Desenho da TiltTable projetada. Fonte: autores.

Para a movimentação, instalou-se dois atuadores elétricos da marca “Phoenix Mecano” com curso de 300 mm., suportando uma carga de 600 kg, e outro com curso de 200 mm. que suporta a mesma carga.

Para fazer a elevação e inclinação da plataforma, instalou-se uma central de comando que recebe um sinal através de um controle que ativa os atuadores individualmente.

Finalizada a montagem, foram realizados testes estruturais permitindo alguns ajustes antes de começar a pintura da plataforma, e então foi concluída a montagem final.

Tabela 2 - Modo de operação da TiltTable.

Botão 1	Aciona os dois Atuadores juntos. A TiltTable levanta perpendicular ao solo. Obs.: por motivos de segurança só elevar a plataforma até 80 cm. do solo.
Botão 2	Recolhe os dois atuadores juntos.
Botão 3	Aciona somente o atuador com 300 mm. de braço. A TiltTable inclina em diagonal. Obs.: por motivos de segurança só elevar a plataforma até 60° .
Botão 4	Recolhe somente o Atuador com 300 mm. de braço.
Botão 5	Aciona somente o atuador com 200 mm. de braço. Obs.: Esse atuador por possuir um alcance menor, não é utilizado para inclinar a plataforma.
Botão 6	Recolhe somente o Atuador com 200 mm. de braço.

Fonte: autores.

Na Figura 5 é apresentado o protótipo da TiltTable concluído. Posteriormente, o veículo projetado foi submetido aos devidos testes e ensaios necessários para a competição.



Figura 5 – Protótipo da TiltTable concluído. Fonte: autores.

Resultados e Discussão

Os tombamentos laterais são acidentes típicos de veículos pesados em curvas horizontais, porém também está presente em carros comerciais e de corridas. A estabilidade lateral de veículos é aferida através do limite de tombamento lateral estático ou "*Static Rollover Threshold*" (SRT), também chamado por SSF (Static Stability Factor), ou por medidas menos difundidas.

Segundo Gillespie (1992, p.311), o SRT é a aceleração lateral máxima em regime estacionário (expressa em fração da aceleração da gravidade "g") na qual o tombamento começa. O limite de tombamento lateral estático SRT é fortemente dependente da geometria do veículo, sendo que é diminuído com o aumento na altura do centro de gravidade (h), e aumentado com o acréscimo da bitola (t) do eixo do veículo. Como se verá, as medidas da bitola e da altura do centro de gravidade do veículo, através da equação simplificada $(t/2h)$, fornecem a primeira estimativa - geométrica - do limite de tombamento lateral estático de um veículo. Um esquema representativo disto é mostrado na Figura 6.

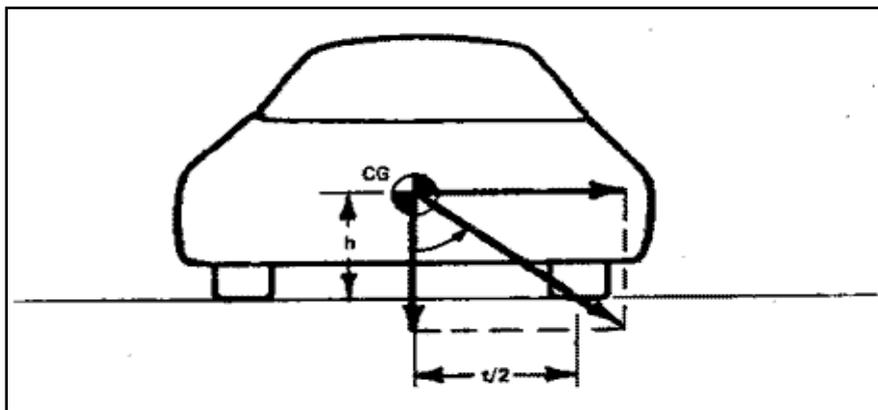


Figura 6 - Esquema para calcular a Força G . Fonte: National Highway Traffic Safety Administration.

Assim, obtêm-se que o SSF é dado por:

$$\text{SSF} = \frac{t}{2h} \quad (2)$$

A TiltTable é utilizada para simular a força G lateral que tende a empurrar o carro para fora de uma curva. Na decomposição das forças que atuam sobre a

estrutura existem as que empurram o carro lateralmente ($g.\text{sen}\alpha$) e perpendicularmente ($g.\text{cos}\alpha$). Então para se calcular a força G lateral é necessário dividir o seno do ângulo pelo cosseno, que em outras palavras representa a tangente do ângulo de inclinação.

O regulamento da Fórmula SAE já possui medidas máximas e mínimas de entre eixos, altura e largura dos carros, de forma que fica previamente determinado uma média dos centros de gravidades que cada carro deve possuir devido as suas características de construção mecânica.

Com isso é possível estipular uma aceleração lateral média para os carros, de forma que fica expressamente definida como mínima para que os carros possam ser considerados aptos a competir. A aceleração lateral determinada para a categoria da Fórmula SAE e adotada em todo o mundo é de 1,7 g, ou seja, $1,7 * 9,81\text{m/s}^2$ que representa $16,677 \text{ m/s}^2$.

Para a simulação da aceleração correspondente o carro é sujeito a um teste em uma TiltTable, que previamente dimensionada pela equipe de organização do Fórmula SAE deve inclinar o veículo em um ângulo de 60° , pois a aceleração lateral equivale a tangente do ângulo de inclinação da mesa este número, que é obtido através da inclinação citada. Uma vez exposto a inclinação da TiltTable e constatado que o carro permaneceu estável, significa o mesmo está apto a percorrer o circuito.

Para que se atinja níveis de segurança admissíveis pela comissão de organização do evento, o circuito utilizado para a prova de enduro, onde o carro atinge maior velocidade, tem sua velocidade média limitada, onde uma vez que se tem a aceleração lateral máxima admissível pelo carro e a velocidade média desejada, é calculado o raio mínimo das curvas. Esse cálculo é realizado com a seguinte expressão matemática:

$$\mathbf{A} = \frac{V^2}{r} \quad (3)$$

Onde:

A = Aceleração lateral

V = Velocidade média do circuito

r = Raio mínimo de curva

Esse cálculo de segurança é realizado porque as provas são realizadas em circuitos que foram projetados para carros que atingem velocidades superiores aos Fórmulas SAE, de forma que são realizados ajustes na largura da pista para que ela não tenha raio grande o suficiente para o piloto atingir velocidades acima das consideradas seguras, ou raio pequeno demais, de forma que com a mesma velocidade determinada pela comissão o carro não sofra uma aceleração lateral maior do que a especificada e seja projetado para fora da pista.

Finalmente, conforme dito anteriormente, os testes com a TiltTable foram realizados no Laboratório de Mecânica UniSALESIANO em Araçatuba, e a confirmação de sua completa funcionalidade foi atestada após o veículo Fórmula SAE ter sido aprovado no teste da competição, conforme mostrado na Figura 7.

Destaca-se o fato de que este resultado positivo foi inquestionavelmente importante e inédito, já que muitas equipes que participam desta competição nem ao menos conseguem aprovação neste teste, o que demonstra de maneira patente a funcionalidade da TiltTable projetada.



Figura 7 – Veículo da Fórmula SAE da equipe Sale Racing, passando por teste em TiltTable da organização da competição e, posteriormente, aprovado. Fonte: autores.

Conclusão

Há muito mais a se estudar após a conclusão de um protótipo como o abordado neste trabalho, porém foi de extrema utilidade e importância a elaboração de um sistema que visa testar o protótipo da equipe de Fórmula SAE do UniSALESIANO. Conseguiu-se ter a noção exata de como funciona uma TiltTable, além de conhecer suas características e utilizações.

Todas estas conquistas contribuíram para que o projeto fosse realizado com êxito, no que se refere a obter uma plataforma com elevação e inclinação, não apenas para uso dos carros da Fórmula SAE, mas também que fosse útil para elevar outros equipamentos, facilitando a manutenção ou demonstração didática dos mesmos no laboratório de engenharia.

Referências bibliográficas

F1TECHNICAL. Disponível em: <<http://www.f1technical.net/forum/viewtopic.php?t=13314>> Acesso em: 22 de Abril 2016.

FORMULA STUDENT. Disponível em: <<http://www.formulastudent.de/m/gt/2>> Acesso em: 27 de Set. 2015.

FSAE. *Discussion* FSAE. Disponível em: <<http://www.fsae.com/forums/showthread.php?8800-Course-Design-Feedback-Discussion-FSAE-Lincoln>> Acesso em: 22 de Abril 2016.

FSAE. *Trackwidth.* Disponível em: <<http://www.fsae.com/forums/showthread.php?9677-Track-width-of-FSAE-cars>> Acesso em 22 de Abril 2016.

LINAK. Disponível em: <<http://www.linak.com.br/about/?id3=5603>> Acesso em: 27 de Set. 2015.

NTN-SNR-SNR Rolamentos. *Rolamentos*. Catálogo Geral da Industria. 2014

PETMEC. *Materiais*. Disponível em: <<http://www.petmec.uff.br/sites/default/files/downloads/W%20%20Apendice%20C%20Materiais.pdf>> Acesso em: 15 de Set. 2015.

SAE BRASIL. *Segurança*. Disponível em: <http://saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/formula2011/Arquivos/Procedimentos_de_Seguran%C3%A7a_2011.pdf> Acesso em: 27 de Set. 2015.

SAE BRASIL. *Formula*. Disponível em: <http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/formula.aspx> Acesso em: 27 de Set. 2015.

THOMSON LINEAR. *Actuators*. Disponível em: <<http://www.thmsonlinear.com/website/Ptg/products/actuators/elec.php>> Acesso em: 02 de Set. 2015.

USP.LDSV. Disponível em: <http://www.usp.br/ldvs/?page_id=398> Acesso em: 22 de Abril 2016.

Desenvolvimento de um equipamento hidropneumático para ensaio de tração.

Hidropneumatic traction test equipment

Fabiano Freitas Oliveira¹
Jefferson Ferreira Menezes¹
Marcelo Henrique Gonçalves Montibeller¹
Tulio Sakomoto Belem¹
Odilon Caldeira Filho²
Amadeu Zanon Neto³

RESUMO

Os equipamentos de ensaio de tração disponíveis no mercado têm como princípio de funcionamento, a eletromecânica, que faz uso de motores elétricos com redução por engrenagens e equipamentos de ensaio hidráulicos; tais equipamentos possuem elevado custo de aquisição. Este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade técnica-econômica do uso de um equipamento multiplicador hidropneumático de pressão em máquinas para ensaios de tração. Após as etapas de confecção e montagem da máquina de ensaios, foram realizados testes com corpos de provas de diferentes metais, todos normalizados como: aço ABNT 1020 e ABNT 1045, duralumínio e latão, com comprimentos de 125mm., comprimento útil de 50 mm, ângulos de raio de 10mm. e diâmetros de 10mm. Após teste e comparativos realizados os resultados obtidos foram satisfatórios, deste modo a utilização desta máquina para ensaios de tração é viável, pois é possível construí-la com menor custo de aquisição.

Palavra-Chave: Equipamento; Ensaio de tração; Hidropneumático; Multiplicador de pressão.

ABSTRACT

¹ Acadêmicos de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, UniSALESIANO.

² Engenheiro, Mestre e Docente do Centro universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

³ Docente especialista do Centro universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

The equipment available on the market have the electromechanical operating principle that makes use of motors and gear reduction and the drain, these devices that have a high cost. This study aims to determine the feasibility of multiplier hydropneumatic pressure equipment on machines for tensile tests. After the steps of manufacturing and assembly of the test machine, Tests were carried out with test samples of three different metals 1020 steel, duralumin, brass, lengths, angles and standardized diameters. The results were satisfactory, it is possible to state that it is feasible to use this machine for tensile tests and that it has a lower cost.

Key words: Equipment; Test of traction; Hydropneumatic; Booster.

Introdução

Os ensaios mecânicos estão se transformando em grandes aliados tanto na pesquisa de novos materiais quanto na conquista de novos mercados. Com a globalização, a concorrência está acirrada, para extrair do material o que o material pode oferecer de melhor e com menor dimensão possível, a fim de gerar um baixo custo de produção mantendo a qualidade. Em determinadas situações é necessário conhecer as características do material antes de se realizar o projeto, para que qualquer deformação resultante, posterior, não seja excessiva e não cause a fratura do mesmo. O comportamento mecânico de um material reflete na relação entre a sua resposta, ou deformação, a uma carga ou força aplicada (CALLISTER, 2008. p. 99).

Com a finalidade de conhecer essas qualidades e comportamento mecânico dos materiais utiliza-se equipamentos de ensaios destrutivos, dentre eles, o de ensaio de tração.

Nesta perspectiva, o objetivo desse trabalho é utilizar o ensaio de tração, efetuado por intermédio do tracionamento de um corpo de prova normalizado até a sua ruptura, obtendo-se assim algumas propriedades.

Os equipamentos de ensaio de tração disponíveis no mercado têm como princípio de funcionamento a eletromecânica, que faz uso de motores elétricos com reduções por engrenagens onde tracionam duas traves de sentidos opostos que levam a ruptura ao corpo, registram a força aplicada através de uma célula de

carga, e equipamentos com atuadores hidráulicos, os quais possuem elevado custo de aquisição.

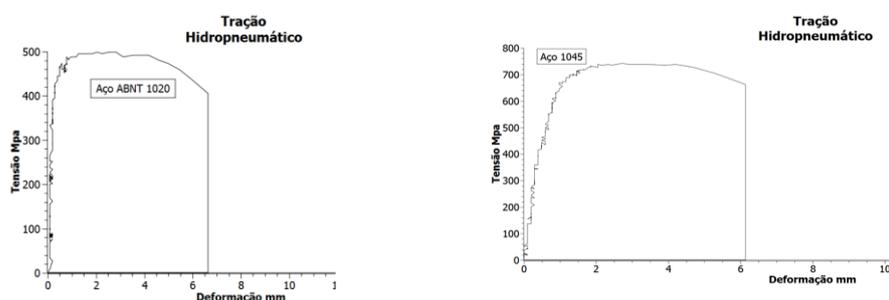
A construção de um equipamento que utiliza energia hidropneumática para exercer a mesma capacidade de força dos equipamentos já existentes e com o consumo mínimo de energia pneumática. É amplamente disponível no setor industrial, possui baixo custo de manutenção, e é construído com componentes relativamente simples, como atuadores pneumáticos e hidráulicos.

Um dos principais componentes deste equipamento é o intensificador de pressão (também conhecido como "*booster*"); são dispositivos que convertem fluido de baixa pressão em fluido de alta pressão, isto é, intensificam a pressão de um sistema hidráulico (FIALHO, 2009), com capacidade de produzir uma força de até 100 kN, semelhantes a equipamentos comercializados.

Atualmente, com o auxílio de um compressor que forneça 8 bar de pressão (equivalente a 0,8 MPa), é possível construir um equipamento capaz de realizar uma força de 100kN, devido a existência de um multiplicador de força, o que proporciona a realização dos ensaios de materiais com corpos de provas normalizados pela ABNT NBR ISO 6892-1:2013 (Materiais Metálicos - Ensaio de tração - Método de ensaio à temperatura ambiente). Deste modo, torna-se um equipamento extremamente didático, pois facilmente pode-se manuseá-lo, e obtendo ainda, a mesma finalidade e precisão nos resultados.

Para a aquisição de dados referentes aos ensaios, tais como tensão e deformação, foi utilizado um computador conectado ao Arduino, responsável pela leitura dos sensores, cujos resultados das características mecânicas do corpo de prova, conforme demonstrado no Diagrama Tensão-Deformação, mostrado no Gráfico 1. Estes dados são coletados da interface do Arduino, e transferidos para um "bloco de notas". Com o auxílio do programa SciDavis importa-se os dados do bloco de notas e o software realiza a construção do diagrama.

Gráfico 1 – Teste de ensaio com aço ABNT 1020 e aço ABNT 1045.



Fonte: Autores.

Metodologia

Praticamente todos os componentes mecânicos foram projetados e fabricados pelos elaboradores do projeto, o que possibilitou a construção deste equipamento. Os elementos que o compõem foram projetados em escala real, analisados utilizando o SolidWorks, que demonstrou as possíveis deformações e regiões críticas susceptíveis à ruptura. Com o projeto pronto, o modelo matemático foi importado para o software MASTERCAM, um programa CAD/CAM (Manufatura Assistida pelo Computador), pelo qual foram definidas as estratégias para usinagem das peças.

A maioria das peças foram usinadas no torno mecânico convencional e fresadora mecânica convencional cujos detalhes mais complexos foram realizados no torno CNC (Comandos Numéricos Computadorizados) e centro de usinagem CNC. Para peças como cilindros que necessitam de uma baixa rugosidade interna, foi necessário o processo debrunimento, pois assim aumenta-se a vida útil dos elementos de vedação como gaxeta e anel *o-ring*, proporcionando uma melhor qualidade e confiabilidade na vedação. Esta preocupação com a rugosidade é justificada pela alteração da viscosidade do fluido com a temperatura, isto é, quanto maior a rugosidade do tubo maior dificuldade o óleo terá para escoar (FIALHO, 2009).

Peças como êmbolos, buchas, faceamento dos corpos de provas (retira-se uma pequena quantidade da superfície do material para apenas deixá-lo com uma superfície sem irregularidades) e hastes e foram torneadas em tornos mecânicos; já as peças que necessitam de mais detalhes para sua usinagem, foram torneadas no CNC para alcançar os mínimos detalhes exigidos pelas normas do corpo de prova.

Na fresadora convencional foram faceadas as bases do *booster*, dos cilindros, e realizadas algumas furações para fixação das peças e estruturas do equipamento. No centro de usinagem foram feitas as furações de 13 mm para as barras roscadas com diâmetro de 12 mm., para então fixar as tampas do *booster* e as tampas dos cilindros hidráulicos, aberturas para encaixes dos cilindros, canal dos *oring's*, e acabamentos.

Os cilindros e os flanges que compõem o equipamento foram construídos com aço carbono ABNT 1020, aço com 0,20 % de carbono, material com baixa dureza, alta ductilidade, e alta deformação elástica, ou seja, o material volta ao tamanho original quando são retiradas as forças atuantes neles. Possui boa tenacidade, o que significa grande capacidade de absorver impactos mecânicos.

Devido ao baixo teor de carbono não dá condições de tratamento térmico como, por exemplo, do tipo têmpera. Nas conduções mecânicas interessa, em geral, que os materiais não sejam frágeis, e nem sejam duros, para que não rompam quando receberem um golpe. A fragilidade de um material é dada pelo seu inverso, a tenacidade, que é a energia necessária para romper pelo choque 1 cm² de seção do material. Isso ocorre de tal modo que, quanto maior for a tenacidade, menor será a fragilidade do material, sendo portanto maior a resistência ao choque, (PARETO, 2003,p. 84).

Os êmbolos foram construídos de ferro fundido cinzento, com dureza de até 250 HB. Suas hastes são de aço ABNT 1045, aço com 0,45% de carbono; ainda é dúctil e tenaz, mesmo com um pouco mais de carbono e revestidos galvanicamente com uma camada de cromo. Deste modo, melhora as propriedades de dureza superficial, resistência ao desgaste, corrosão e baixo coeficiente de atrito estático o que garante boa qualidade de vedação e durabilidade das hastes.

Na construção do diagrama Tensão-Deformação realizou-se a aquisição de dados de duas grandezas: a força empregada durante o teste e o deslocamento do corpo de prova. Para a coleta da força empregada, foi utilizado um sensor de pressão piezoelétrico com capacidade de 300bar (equivalente a 30 MPa), com precisão de 2%. Assim, é calculada a relação entre a área do cilindro e a pressão hidráulica exercida sobre ele, ou seja, multiplicando a pressão pela área obtém-se a

força aplicada pela máquina durante a realização do teste. Já para a deformação do corpo de prova, foi utilizado uma régua potenciométrica com extensão de 100 mm e precisão de 0,05%. Optou-se por esse tipo de leitura, pois no sistema de fixação por flange e rosca, utilizado no equipamento, não há deslizamento entre o corpo de prova e as flanges de fixação.

O equipamento, Figura 1, funciona com uma pressão pneumática provinda de um compressor de 8bar (equivalente a 0,8 MPa) na entrada do booster, realizando uma multiplicação de força com fator 16:1 que culminará em pressão hidráulica de 128bar (equivalente a 12,8 MPa) capaz de acionar um atuador com volume de 0,8 l de capacidade, que resulta em uma força de até 100kN na saída do cilindro na mesa de teste.



Figura 1 – Equipamento de Ensaio e corpos de provas. Fonte: autores.

Foram empregados três corpos de prova de materiais diferentes, tais como: aço ABNT 1020, duralumínio (liga de Al, Cu, Mg) e latão (liga de Cu e Zn), normalizados com o comprimento de 125 mm e comprimento útil de 50mm., com raio de transição de 10 mm. e diâmetros de 10mm..

Para a fixação dos corpos de prova, foi utilizado um sistema de castanhas com roscas, onde foram feitas rosca M20 X 2,5 mm. de um lado e do outro um

rasgo em forma de “T”, que nos permite o encaixe de forma rápida no pino e na haste do cilindro responsável pela tração. No pino superior possui um corpo roscado com um volante na outra extremidade, cuja finalidade é retirar as folgas do conjunto, para posteriormente dar início ao ensaio.

Quando o ensaio for iniciado, a pressão partirá do zero e aumentará gradativamente com o auxílio de um regulador de pressão acoplado a um motor elétrico de alto torque equipado com uma redução de 3:1; ou seja, uma combinação de engrenagens faz com que a velocidade diminua e mantenha o torque no regulador de pressão, resultando numa rotação de 3 rpm. Esse sistema é auxiliado por uma válvula controladora hidráulica de fluxo para regular a velocidade do ensaio.

Resultados e Discussão

Como referência, a eficiência dos ensaios realizados no equipamento hidropneumático de ensaio de tração foram ensaiados em uma máquina da EMIC DL 30000 N. Na Tabela 1 efetuou-se um comparativo, considerando dois corpos de prova de aço, um do tipo ABNT 1045, e outro do tipo ABNT 1020, extraídos das respectivas barras de aço; sendo assim os corpos de prova devem apresentar resultados semelhantes desde que a operação do equipamento siga a norma estabelecida para o ensaio em questão.

Com posse dos dados abaixo, resultantes dos testes realizados no equipamento construído, verificou-se que o comportamento dos materiais foram semelhantes, conforme apresentado na Tabela 1. Por outro lado, o comportamento dos materiais testados na descritos na Tabela 2 assemelham-se às características mecânicas dos materiais testados. Houve uma pequena dificuldade na localização exata dos pontos referentes à zona de transição e início do escoamento, por este motivo não foram citados.

Tabela 1 – Dados comparativos dos resultados dos testes realizados.

Equipamento

	EMIC DL 30000 N		HIDROPNEUMÁTICO	
	Aço 1045	Aço 1020	Aço 1045	Aço 1020
Material do Corpo de prova	Aço 1045	Aço 1020	Aço 1045	Aço 1020
Limite de resistência a tração	761,1 MPa	540 MPa	745 MPa	500 MPa
Tensão de ruptura a tração	631 MPa	459 MPa	665 MPa	460 MPa
Alongamento	635 mm	8,75 mm	655 mm	8,05 mm
Ductilidade	36 %	51 %	39,94%	49,59 %

Fonte: Autores.

Tabela 2 – Dados coletados de outros materiais.

	Equipamento HIDROPNEUMÁTICO	
	Alumínio	Latão
Material do Corpo de prova	Alumínio	Latão
Limite de resistência a tração	315 MPa	335 MPa
Tensão de ruptura a tração	240 MPa	330 MPa
Alongamento	8,60 mm	11,8 mm
Ductilidade	53,08 %	23,44 %

Fonte: Autores.

Ao comparar os dois equipamentos de ensaio de tração, é possível verificar que o EMIC DL 30000 N traciona o material e indica a tensão aplicada deixando a máquina no controle da situação, pois o deslocamento do corpo ocorre porque seu mecanismo possui dois servos motores que movimentam dois fusos responsáveis pelo afastamento das travessas onde os corpos são fixados. Já o equipamento construído nesse trabalho, traciona o corpo à medida que a pressão aumenta no sistema e, por consequência, a tensão. Tal comportamento leva à hipótese que isto possa ser o responsável pelas dificuldades em encontrar os pontos onde ocorrem a zona elástica e o escoamento do material.

Após criteriosa análise no sistema do equipamento hidropneumático verifica-se que a válvula controladora de fluxo utilizada pelo controle de velocidade do atuador não se comporta de forma eficiente, pois foi projetada para controlar a velocidade do atuador em uma pressão constante. O princípio do funcionamento do equipamento construído exige que parta da pressão inicial de zero Pascal e aumente gradativamente até que o corpo de prova atinja a sua tensão de ruptura.

Portanto, como ressalva e ao mesmo tempo como sugestão de melhoria para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade da instalação de uma válvula controladora de fluxo com compensador de pressão, a fim de controlar a

velocidade da aplicação da carga constante, seguindo a norma do ensaio. Com isso, corrigir-se-ia, no Diagrama Tensão-Deformação a curva na zona elástica (trecho constante do diagrama) obtendo-se assim um ensaio dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma.

Conclusões

Após finalizar a construção e operação do equipamento, o objetivo foi alcançado. O corpo de prova rompeu próximo a seu limite de resistência e o Diagrama Tensão-Deformação registrou o comportamento do corpo de prova nas três zonas (elástica, escoamento e plástica) atestando os ensaios, comprovando os cálculos, tanto para a construção, quanto para o funcionamento, realizados no desenvolvimento do projeto e antes da fabricação do mesmo.

A construção de um equipamento hidropneumático para a realização de ensaio de tração demonstrou-se viável técnico-economicamente, pois apresenta precisão similar aos equipamentos de ensaios tradicionais, em relação às medidas de tensão máxima, de ruptura e deformação, aliada a um baixo custo de produção. Para a coleta das medidas de deformação elástica e zona de escoamento do corpo de prova, é necessário aprimorar o controle de velocidade para aplicação da carga de tração ao corpo de prova, que dará confiabilidade ao ensaio.

Quanto a preços, houve grande vantagem em relação ao mercado, pois um equipamento similar custaria 750 % a mais que o Hidropneumático.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 14724:2005 - *Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos – Apresentação.*

ABNT NBR ISO 6892-1:2013 *Versão Corrigida:2015 - Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.*

CALLISTER, Jr. W. D. *Ciência e engenharia de materiais uma introdução*. 7ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 2008

FIALHO, A.B. *Automação hidráulica. Projetos dimensionamento e análise de circuitos*. 5ª ed. São Paulo. Editora Érica, 2009.

FIALHO, A.B. *Automação Pneumática. Projetos dimensionamento e análise de circuitos*. 6ª ed. São Paulo. Editora Érica, 2009.

HIBBELER, R. C. *Resistência dos materiais*. 7 ed. São Paulo. Person Prentice Hall, 2010.

MELCOMNIAN, S. *Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais*. 18 Ed. São Paulo. Editora Érica. 2009

OMEGA. *Manual de Referência Técnica de Pressão*. 1ª ed. São Paulo. 2014

PARETO, L. *Resistência e ciência dos Materiais*. 1ª Ed. Editora Hemus. 2003

PARKER. *Catalog 2502/USA Industrial Hydraulic Valves*. 1ª ed. Elyria, Ohio. 1997.

STEWART, H.L. *Pneumática e Hidráulica*. 3ª ed. Curitiba: Editora Hemus, 1981.

TELECURSO. *Ensaio de materiais*. Profissionalizante de mecânica. 1ª ed. Rio de Janeiro. 2009.

TELLES, P. C. S. *Vasos de pressão*. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

THOMAZINI, D. ALBUQUERQUE, P.U.B. *Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações*. 2ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2006.

VICKERS. *Manual de Hidráulica Industrial*. 6 ed. São Paulo: Editora Ipsilon, 1975.

Engenharia da Computação

***JTux*: uma nova tecnologia Web para gerenciamento de servidores em ambiente Linux**

JTux: a new Web technology to manage Linux server environment

Guilherme Augusto Stella ¹
Gustavo Manzali Fernandes ¹
Alexandre Marcelino²

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, UniSALESIANO.

² Docente do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, UniSALESIANO.

RESUMO

Com o crescimento do parque de servidores em ambiente Linux, algumas empresas acabam enfrentando problemas de gerenciamento de suas infraestruturas. Deste modo, o projeto tem como objetivo disponibilizar aos analistas uma aplicação Web de fácil acesso que possa configurar servidores Linux de forma ágil. O produto será desenvolvido com estrutura baseada nos conceitos do livro Patterns of Enterprise Application Architecture e utilizará a linguagem Java 6 EE com as plataformas JSF, JPA, CDI e implementação das frameworks Hibernate, Weld e Primefaces. Através dessa aplicação, o analista poderá acessar e configurar diversos servidores.

Palavras-Chave: *Software*; Java EE; Linux; Aplicação Web.

ABSTRACT

With the growing of the Linux server's environment, some companies ends up facing management problems with their server infrastructure. Therefore, the project aims to provide to the analysts with a Web Application with an easy access that you can configure a Linux server in a fast way. The product will be developed with a structure based on the concepts of the book Patterns of Enterprise Application Architecture and will use the Java 6 EE with JSF, JPA, CDI platform and implementation of Hibernate, Weld and primefaces framework. Through this application, the analyst will be able to access and configure multiple servers.

Key words: *Software*; Java EE; Linux; Web Application.

Introdução

A proposta desta pesquisa requer a análise da predominância do sistema operacional Windows nas estações de trabalho. De acordo com VINICUS BRINO (2014), estipula-se que mais de 80% dessas estações esteja voltada ao parque de sistemas operacionais da tão aclamada Microsoft, que se encontra hoje entre uma das 10 Empresas mais lucrativas do mundo. Neste ranking também se encontra a empresa Apple que possui seu produto Mac OS, sendo esse sistema operacional responsável por quase 10% das estações de trabalho perante o mundo. Sendo assim, pode-se observar que pouco menos de 10% dessas estações utilizam o sistema operacional Linux para fins de usuário final.

Cabe ressaltar neste contexto que o Linux foi criado em 1991 pelo finlandês Linus Trovalds, com objeto de criar um novo núcleo de sistema operacional. Trovalds cursou Ciências da Computação na Faculdade de Helsinki onde teve a oportunidade de montar um computador pessoal com um sistema operacional gratuito chamado Minix baseado em Unix. Após observar diversas dificuldades no SO com relação às conectividades e uso de terminal, Linus resolveu desenvolver seu próprio terminal de emulação. Devido ao resultado satisfatório do terminal desenvolvido, Linus acreditou que poderia ir além. Logo, desenvolveu outras carências que o Minix apresentava. Com apoio de vários colaboradores, Linus conseguiu incentivar a iniciação Open Source e através das ferramentas GNU, o Linux foi oficialmente publicado com a licença GPL (GNU Public License), disponibilizando o código fonte para estudos e melhorias.

Hoje o Linux conta com diversas variações chamadas Distribuições. Mesmo com o contexto histórico do Open Source (Código Aberto), algumas distribuições acabaram entrando no modelo de uso particular, porém não interromperam o processo de evolução do projeto. Estas versões pagas possuem apenas interfaces gráficas parecidas como as oferecidas pelo Windows e Mac OS. Por outro lado, existem fortes distribuições gratuitas que ganham cada vez mais espaço entre os usuários, tanto em uso particular quanto em servidores. As mais conhecidas são: Ubuntu, Fedora, Debian, Kali e Mint.

O Linux ganha cada vez mais seu espaço entre as estações de trabalho, porém quando se fala de servidores, esse SO acaba assumindo o primeiro lugar no

ranking dos sistemas operacionais mais utilizados. De acordo com (NEGROMONTE, 2014):

Linux continua a sendo a melhor escolha para a nuvem, com 75 por cento das empresas relatando que eles usam Linux como plataforma cloud. Esses números se comparam com menos de 24 por cento usando o Windows e menos de 2 por cento usando Unix para suporte a nuvem. Na verdade, mesmo o CEO da Microsoft Satya Nadella recentemente declarou seu amor pelo Linux. Empresas consideram o Linux superior na objetividade, segurança e custo.

Tendo em vista a importância desse sistema operacional para fins corporativos, propõe-se no projeto, o desenvolvimento de uma aplicação de interface amigável ao usuário final para acesso e configuração de servidores Linux.

A interface gráfica facilita a compreensão do usuário em administrar seu parque de servidores, bem como, aplicar novos serviços de maneira fácil e ágil. A proposta é que com apenas alguns cliques ele consiga estabelecer a conexão com o servidor e instalar seus principais serviços da maneira que desejar.

O software terá como função principal implantar estruturas previamente configuradas na forma de *templates*, podendo o usuário final mudar os principais aspectos para seu uso específico.

As tecnologias para desenvolvimento da interface gráfica serão baseadas em Java. A plataforma de desenvolvimento conta com diversas ferramentas de estrutura e especificações para padronização de projetos. Por se tratar de um desenvolvimento em ambiente *Web*, a aplicação será disponibilizada para acesso em multiplataformas, podendo ser acessada de um computador, *tablet*, celular ou qualquer outro dispositivo com acesso a internet e navegador.

Sendo mobilidade uma palavra chave da aplicação, os recursos disponibilizados pelo projeto poderão ser acessados de quaisquer dispositivos com acesso a internet e navegador.

A linguagem Java surgiu em 1990 quando um grupo de pesquisadores precisaram desenvolver aplicações portáteis. Inicialmente tentaram utilizar a linguagem C/C++, porém identificaram diversas falhas nos recursos disponibilizados por esta, e que futuramente, iriam impossibilitar o

desenvolvimento destas aplicações. Os desenvolvedores associados então decidiram iniciar a criação de uma linguagem capaz de suprir estas necessidades, surgindo assim a linguagem Oak (carvalho). A novidade não disparou de início, porém com o surgimento das aplicações voltadas *World Wide Web* (WWW), houve a necessidade de intensificar o projeto.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do software será baseado no Livro *“Patterns of Enterprise Application Architecture”* (Padrões de Arquitetura para Aplicações Empresariais) de Martin Fowler. Os tópicos mais utilizados do livro serão os padrões de Modelo de Domínio e Camadas de Serviço.

Martin preza em sua literatura, o conceito de separação do desenvolvimento em camadas, onde a estrutura de modelagem entidade-relacional, persistência de dados e regras de negócio ficam em uma camada interna do projeto. Separadamente, o software é capaz de disponibilizar serviços para as camadas superiores de apresentação. Esta técnica é recomendada para sistemas de grande porte quando visam acesso em multi plataformas.

A literatura de Martin será utilizada devido à importância das padronizações de projeto (*Design Pattern*). O autor é um ícone no mundo da arquitetura de software para aplicações empresariais, e por estes e outros motivos, que o livro mencionado costuma ser chamado de “a bíblia” pelos desenvolvedores mais conceituados. O foco do livro apresenta a separação do desenvolvimento em camadas, sendo elas: UI (Interface do Usuário), Camada de Serviço, Domínio e Camada de Persistência de Dados. Abaixo um exemplo do tópico Service Layer:

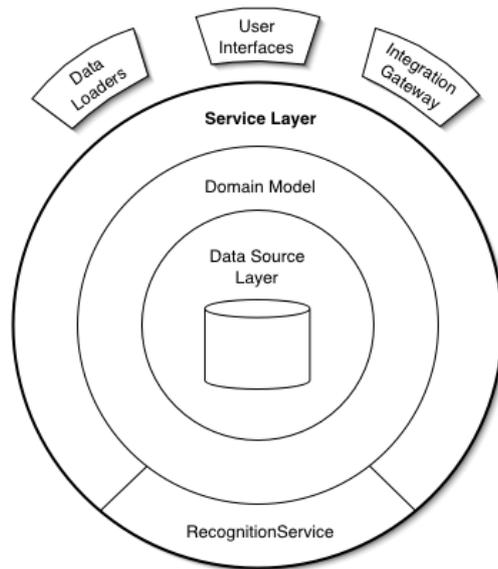


Figura 1 – Rascunho da Camada de Serviço. Fonte: Martin Fowler (2015).

De modo geral, observa-se na Figura 2 a demonstração, de modo geral, o funcionamento proposto pelo projeto.

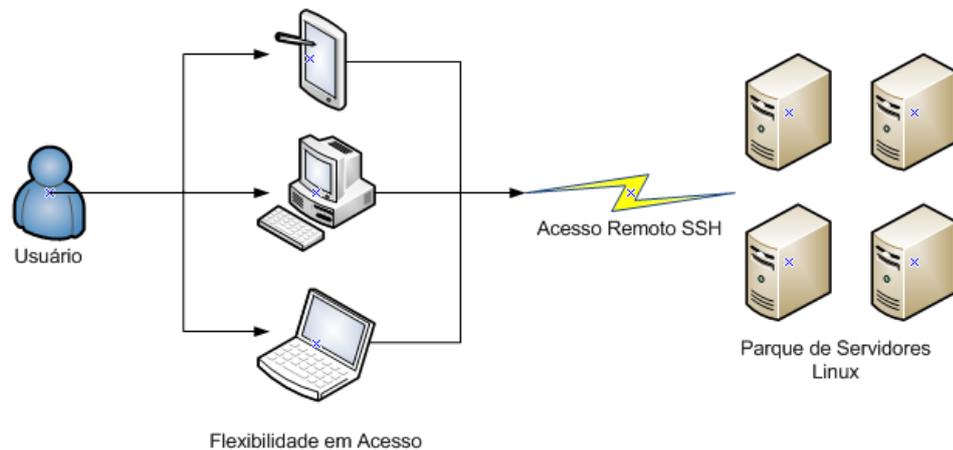


Figura 2 – Modelo de Conexão Usuário Servidor. Fonte: Visio(2015)

O usuário, independentemente do dispositivo de acesso, terá flexibilidade para acessar o software. Para garantir esta facilidade de acesso, a aplicação Web será desenvolvida na linguagem Java Enterprise Edition.

A versão J2EE (versão dois) oferece ao desenvolvedor uma metodologia de como o software deverá ser implementado. A tecnologia é constituída por uma série de especificações bem detalhadas. Algumas dessas especificações do desenvolvimento são utilizadas no projeto: Enterprise Javabeans Components (EJB) e Java Persistence API (JPA). Entre estas, algumas frameworks também são utilizadas, tais como Weld, referência de implementação da injeção de dependência e contexto, Maven e Primefaces RIO, interface gráfica com componentes visuais em XHTML e CSS. Deste modo, o Java foi escolhido, pois não se trata apenas de uma linguagem, e sim de uma plataforma de desenvolvimento com compatibilidade em inúmeros dispositivos com acesso a internet.

Ao preparar o ambiente de desenvolvimento, utiliza-se uma ferramenta escrita em Java chamada Maven. Este framework gerencia as dependências do projeto, na qual providencia ao desenvolvedor todas as bibliotecas necessárias para o desenvolvimento. A concepção de dependências e artefatos desse programa, também facilita a importação das bibliotecas. Além do Maven existem outros Frameworks similares no mercado, porém essa foi selecionada por ser mais compatível além de possuir uma grande estrutura de aprendizagem disponível na internet.

Existem diversas frameworks para controle e transações de persistência de informações disponíveis gratuitamente, dentre elas a própria Hibernate, EclipseLink, OpenJPA e Batoo. De acordo com Begoli (2005), o uso do Hibernate torna-se viável devido ao aumento de produtividade no desenvolvimento, aumento de *performance* no processamento e também liberdade ao escolher um banco de dados para a aplicação. Outro ponto também é que a comunidade Hibernate disponibiliza aos desenvolvedores inúmeros tutoriais e materiais didáticos para consulta. Sua integração com a IDE Netbeans, utilizada para o desenvolvimento do software, facilitou o uso desta ferramenta.

O Java, por se tratar de uma plataforma de desenvolvimento, disponibiliza especificações de implementação sendo o JPA (Java Persistence API) uma delas. O JPA trabalha de uma forma dinâmica, pois ela é uma especificação, ou seja, pode-se

implementar Hibernate utilizando JPA, porém se o projeto demandar de outra *framework* como, por exemplo, o eclipseLink, basta apenas trocar estruturas de configuração, assim, o desenvolvimento não precisará ser alterado.

O uso do Hibernate/JPA também fornece a geração automática da estrutura do banco de dados, independente do banco de dados utilizado. Deste modo, o desenvolvimento do *software* fica livre da criação do banco.

Seguindo os padrões de desenvolvimento do modelo de Martin Fowler que foram apresentados no início da metodologia, a aplicação empresarial demanda da estrutura em camadas. Uma destas estruturas é a camada de Controle (ou Bean) que é responsável por transportar dados da Camada de Serviço para a camada de apresentação (View ou User Interface). Para desenvolvimento dessa camada, utiliza-se a plataforma JSF (JavaServer Faces) que fornecerá integração do componente Java com *interface* gráfica por meio da comunicação EL (Expression Language). O JSF é utilizado por ser uma especificação de padrão Java. Também devido a este motivo, a plataforma pode ser utilizada junto com a tecnologia CDI para controle de dependência e contexto e Primefaces para interface gráfica. Lacerda (2012) fala em sua publicação sobre o desempenho com o uso do JSF, envolvendo a integração com a injeção de dependência e o *framework* de visualização PrimeFaces.

Com ênfase na flexibilidade do usuário e facilidade de uso com interface gráfica amigável, deu-se preferência a *framework* Primefaces na versão RIO, que pode ser obtida na loja virtual do fornecedor. A versão RIO é composta com diversos componentes gráficos escritos em XHTML e CSS-JS com documentações para implementação e também possui suporte para acessos em multiplataformas, ou seja, a estrutura de paginação é redimensionada de acordo com o dispositivo de acesso.

Por trás de todas as plataformas citadas, o projeto tem em sua estrutura principal, a tecnologia disponibilizada na versão Java 6 EE chamada CDI (Injeção de Dependência e Controle). De acordo com Andy, esta plataforma é responsável por garantir o funcionamento das demais. Desenvolvida em 2009, o recurso possui especificação JSR-299 (Java Specification Request), portanto, disponível em

qualquer servidor de aplicação Java 6 EE. Por se tratar ainda de uma especificação (como todas as plataformas citadas), o CDI é implementado no projeto através do framework Weld. A injeção de dependência fornece vantagens para as plataformas JPA e JSF, sendo que para JPA, ela controlará todas as transações e aberturas de conexão com o banco de dados de forma rápida e segura e para JSF, garantirá o ciclo de vida de um objeto em uma sessão ou requisição de página, além de integrar a comunicação entre Controle / Apresentação através da EL (Expression Language). Outro ponto importante e também citado por Andy em sua publicação, é que a modelagem de negócio e serviço passa serem implementações voltadas à interface através da Injeção. Sendo assim, o trabalho de um desenvolvedor e de um analista fica facilmente discriminado, sendo o analista o implementador das interfaces e o desenvolvedor, a programação.

Os métodos de conexão entre aplicação e servidor serão feitas através do protocolo de conexão SSH. O *Secure Shell* permite acesso virtual a um servidor através de um terminal remoto, sendo toda a transmissão criptografada. Utilizou-se na aplicação uma framework chamada JSch (Java Secure Channel) produzido pela empresa JCraft. Esse recurso possibilita o acesso ao servidor via SSH de forma autenticada e envio dos arquivos de configuração através do protocolo SFTP. Suas bibliotecas em Java e documentações são disponibilizadas gratuitamente no website do fornecedor e sua facilidade de uso garantiu a preferência perante os outros códigos existentes, dentre eles, *ssh2*, *ssh library*, *maverick* e *sshxcute*. Outro ponto no qual foi escolhido o JSch da JCraft é o fato de ser uma framework puramente desenvolvida e integrada ao Java, conforme citado no website da empresa. Através desse *framework*, podem-se configurar os mais diversos serviços disponibilizados em Linux, como: Squid, DHCP e também envio de arquivos.

Squid é um serviço de Proxy e cache que fornece ao servidor a capacidade de filtro de acesso à *internet*, gerenciamento de cache para aumento de desempenho em navegação. Outros serviços como SquidGuard também fornecem os mesmos serviços, porém o projeto visa implementação do Squid versão 3, por se tratar de um dos serviços mais utilizados para estes requisitos. Sendo assim,

uma das ferramentas com maior número de tutoriais didáticos fornecidos na *internet*.

De acordo com Silva (2014, p.197) [...] *o principal servidor proxy para Linux é o Squid*.

O serviço de DHCP utilizará o serviço ISC – DHCP. Dentre esse serviço, existem outros como: BusyBox, Dnsmasq, etc. Independente do serviço utilizado, a função desse serviço no servidor é de atribuir números de IP's para computadores da rede de domínio, e utilizar forma de endereçamento dinâmico.

O Serviço de Firewall é composto por um arquivo configurado manualmente com a extensão “sh” (shell). Este contém comandos de iptables que podem ser executados diretamente do terminal. Pelo fato de que o mesmo não é um serviço e sim um conjunto de regras criado, foram realizadas configurações para que seja iniciado juntamente com o SO, ou seja, mesmo que haja uma queda de energia será reiniciado.

De acordo com Silva (2010, p. 109), um Firewall baseada em *iptables* é estável, confiável e permite muita flexibilidade na programação de regras.

Dentro do arquivo de Firewall contém um conjunto de regras, obtidas de uma base conhecimento, com tratamento de alguns tipos de invasão como, TRINOO, contra pacotes mal formados, e Port Scan.

O Sarg é um interpretador de log do Squid. Sempre que ele é executado é criado um conjunto de páginas que podem ser acessadas via web com os dados de navegação dividido por IP, dia, mês e ano. Com isso, mesmo que o Squid não tenha nenhum filtro, podem-se acompanhar os acessos de um computador, obtendo-se os dados de navegação de cada computador.

O Serviço de apache é um servidor de páginas, responsável por disponibilizar páginas ao navegador do cliente. De acordo com Silva (2010) “[...], *o Apache é um servidor Web extremamente configurável, robusto e de alta performance*”. Segundo o inquérito de junho de 2015 pela Netcraft, o apache responde por mais de 46% de uso, enquanto a Microsoft corresponde a 29% do mercado. Para essa solução será aplicada a versão 2 do Apache, com as configurações *default*.

CONCLUSÃO

Um dos grandes problemas de gerenciadores de servidores Linux é acessar servidores remotamente através de terminais para gerenciamento. Normalmente, um analista faz diversos acessos em diversos servidores para aplicar ajustes em serviços, sendo que muitas vezes, quando aprimorado o desenvolvimento de um serviço, esse colaborador deverá acessar novamente todos os outros servidores para reaplicar o novo serviço.

Como o software dará ao usuário uma facilidade para acesso ao servidor e aplicação dos serviços, o analista terá então a necessidade de configurar apenas o arquivo de *template* do projeto. Logo, ficará isento do retrabalho.

Utilizando as mais novas tecnologias em desenvolvimento Web, os acessos aos servidores podem ser feitos de dispositivos móveis com apenas os requisitos de comunicação a internet e Navegador.

Com o uso também das metodologias de desenvolvimento estipulado por Martin Fowler e as plataformas de injeção de dependência, o projeto também pode ser customizado em versões futuras, incluindo assim, novos serviços de configuração.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA LINUX. *Definições e vantagens do Squid*. Disponível em: <<http://www.academialinux.com.br/index.php/artigos/75-definicoes-e-vantagens-do-squid>> Acesso em 26 de Agosto de 2015.

BRINO, V. *Confira as 10 empresas mais valiosas do mundo*, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.baboo.com.br/corporativo/mercado-corporativo/confira-10-empresas-mais-valiosas-mundo>> Acesso em 21 de Agosto de 2015.

BEGOLI, E. *3 Reasons For Why Should You Use Hibernate*, abr. 2005. Disponível em: < <http://it.toolbox.com/blogs/lim/3-reasons-for-why-should-you-use-hibernate-3863>> Acesso em 15 de Outubro de 2015.

FOWLER, M. (2002). *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley, 2002.

_____. *Domain Model*. Disponível em: < <http://martinfowler.com/eaCatalog/domainModel.html>> Acesso em 22 de Agosto de 2015.

_____. *Service Layer*. Disponível em: < <http://martinfowler.com/eaCatalog/serviceLayer.html>> Acesso em 22 de Agosto de 2015.

GIBSON, A. *Trabalhando com Injeção e Qualificadores no CDI*. Disponível em: <https://netbeans.org/kb/docs/javaee/cdi-inject_pt_BR.html> Acesso em 15 de Outubro de 2015.

JCRAFT. *JSch - Java Secure Channel*. Disponível em: < <http://www.jcraft.com/jsch/>> Acesso em 10 de Setembro de 2015.

JCRAFT. *Why JSch?*. Disponível em: < <http://www.jcraft.com/jsch/>> Acesso em 15 de Outubro de 2015.

NEGROMONTE, E. *Linux Foundation divulga informações sobre o crescimento do Linux no mundo*, set. 2014. Disponível em: < http://sempreupdate.org/linux-foundation-divulga-informacoes-sobre-o-crescimento-do-linux-no-mundo/?utm_medium=twitter&utm_source=Rob%C3%B4+S.U.> Acesso em 21 de Agosto de 2015.

PEREIRA, A. P. *A história do Linux*, mai. 2010. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/sistema-operacional/4228-a-historia-do-linux.htm>> Acesso em 25 de Agosto de 2015.

RAPHAEL, L. *10 razões para migrar sua aplicação para JSF 2*. set. 2012. Disponível em: <http://blog.caelum.com.br/10-razoes-para-migrar-sua-aplicacao-para-jsf-2/>> Acesso em 15 de Outubro de 2015.

RED HAT. *Maven repository*. Disponível em: <<http://hibernate.org/orm/downloads/>> Acesso em 25 de Agosto de 2015.

REDAÇÃO OLHAR DIGITAL. *Linguagem Java: um pouco de história*, jul. 2013. Disponível em: <<http://olhardigital.uol.com.br/noticia/linguagem-java-um-pouco-de-historia/35728>> Acesso em 26 de Agosto de 2015.

SILVA, E. *DHCP no GNU/Linux - Guia para ISC-DHCP Server*, ago. 2012. Disponível em: <http://www.vivaolinux.com.br/artigo/DHCP-no-GNU-Linux-Guia-para-ISCDHCP-Server>> Acesso em 26 de Agosto de 2015.

SILVA, G. *Guia Foca GNU/Linux – Avançado*, Ebook Versão 6.43, 2010.

SILVA, G. *Guia Foca GNU/Linux – Iniciante*, Ebook Versão 4.22, 2010.

SILVA, G. *Guia Foca GNU/Linux – Intermediário*, Ebook Versão 5.65, 2010.

SIQUEIRA, L. *Certificação LPI- 1: Linux New Media*, 4º Edição 2012.

SIQUEIRA, L. *Certificação LPI- 2: Alta Books Editora*, 4º Edição 2014.

SILVA SOUZA, V. e. *CDI – Contextos e Dependências – Parte 2*. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/cdi-contextos-e-dependencias-parte-2-java-magazine-85/18492>> Acesso em 26 de Agosto de 2015.

Desenvolvimento de Drone Gerenciado por Aplicativo *Mobile* – *SmartDrone*

Drone Development Managed by Mobile Application – SmartDrone

Eglauco Felipe Melo¹
Vinícius Fernandes Peres¹
Renato De Aguiar Teixeira Mendes²

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, o mercado de *Drones* vem ganhando espaço. Como exemplo, cita-se o investimento da Intel em U\$60 milhões, pois esse investimento demonstra a relevância das pesquisas nessa área. Atualmente, existem modelos

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, UniSALESIANO de Araçatuba

² Docente do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium- UniSALESIANO de Araçatuba

controlados via *Smartphone*, mas este controle possui limitações por não ser portátil para diversos tipos de *drones*. O objetivo deste trabalho é desenvolver um *hardware/software*, utilizando Arduino Uno que simule um receptor de sinais de controle e seja capaz de enviar esses sinais para qualquer tipo de placa controladora de voo e controlar o *Drone* por um *Smartphone*.

Palavras-Chave: Drone; Smartphone; Controle; Aplicativo.

ABSTRACT

With the advance in technology, the Drone market had been growing, it can be used as an example the U\$60 million investment from Intel; this investment shows the importance on research in this field. Nowadays, models controlled by smartphones exist, but it has limitations for not been portable to several drone types. This paper aims to develop a hardware/software using Arduino Uno that simulate the control signal receiver and will have the capability to send these signals to any type of fly controller board and control the Drone for a Smartphone.

Keywords: Drone, Smartphone, Control, Application.

Introdução

A pesquisa sobre a indústria de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs ou Drones) realizada pela empresa TealGroup mostrou que a perspectiva do mercado para VANTs ou *Drones* está crescendo. O valor estimado para o ano de 2024 é de 91 bilhões de dólares e esse valor representa o dobro do investimento em 2014, mostrando claramente a importância desse mercado. Cerca de 89% de VANTs são para fins militares e 11% são para fins comerciais, e a previsão é que os VANTs para fins não militares passe para 14% da próxima década, sendo que o principal país responsável por alimentar esse mercado é o Estados Unidos (PRATES,2014).

As grandes empresas da área de tecnologia começaram adotar *Drone* para fins comerciais. A Amazon investiu em *Drone* para fazer entregas dos seus

produtos, a Google utiliza para captura de imagem e o *Facebook* tem um projeto de levar internet para todos utilizando um VANT (PRATES,2014). A empresa Intel que é referência na área de processadores anunciou dia 26 de agosto de 2015, o investimento de U\$60 milhões para desenvolvimento de *Drones*. Esse investimento é o resultado de uma parceria feita com a empresa Yuneec. A Yuneec é uma empresa especialista em desenvolvimento de *Drones* comerciais para captura de imagem (OLHAR DIGITAL,2015). Esse investimento demonstra que a área de pesquisas e estudos sobre *Drone* comerciais estão crescendo, com isso, a relevância das pesquisas nessas áreas estão cada vez maiores.

Cabe ressaltar que a comercialização de *Drones* para fins comerciais iniciaram o desenvolvimento voltado para a área de diversão onde foram criados diversos modelos. Com o avanço das tecnologias, o mercado de *Smartphone* vem crescendo paralelamente, impulsionando assim, os lançamentos de *Drones* que utilizam os mesmos para controlá-los. Atualmente, existem modelos no mercado que são controlados por *Smartphone*, mas possuem limitações, cita-se o fato de que o mesmo controle de um *Drone* não pode ser acoplado em outro, ou seja, cada um possui seu próprio *hardware* de controle e seu próprio aplicativo no *Smartphone*, não provendo portabilidade. Diferentemente de *Drones* profissionais que utilizam controle de rádio frequência, que podem ser conectados em outro *Drone*, ou seja, um controle universal.

Foram lançados recentemente modelos de *Drone* onde o controle é feito através do *Smartphone*, mas ainda com a limitação de cada *Drone* possuir um controle próprio. Uma das empresas que lançou esse produto foi a Parrot, com o modelo *BebopDrone*. Esse modelo possui um aplicativo próprio, onde é feito todo o controle utilizando a comunicação *wi-fi*. O aplicativo possui vários comandos e a leitura dos sensores é em tempo real, o que possibilita um maior controle sobre o *Drone*. Esse modelo também é capaz de fazer filmagens e captação de fotos (PARROT,2015). Outra empresa que lançou o mesmo seguimento foi a Zano. O modelo possui um aplicativo próprio onde é possível mandar todos os comandos e a comunicação é executada através do *wi-fi*. Esse *Drone* também é capaz de fazer

capturas de imagens para fotos e vídeos, é o único modelo da empresa (ZANO,2015).

O objetivo do projeto é desenvolver um *hardware/software*, com o uso do Arduino Uno, que simule um receptor de sinais de controle de rádio frequência sendo capaz de enviar sinais para placas controladoras de voo. Para a comunicação com esse *hardware* é desenvolvido um aplicativo *mobile* em Java para sistemas operacionais Android, responsável por enviar comandos através da comunicação *wi-fi*, usando o modulo ESP 8266-01. Neste trabalho, o *hardware* envia comandos para a placa controladora Crius V2.5 e monta-se e configura-se um *Drone* por completo.

Na secção abaixo, descreve-se a as regras e normas impostas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)

Regras e Normas

A proposta de norma Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) tem como premissa viabilizar as operações, desde que a segurança das pessoas seja preservada. A proposta divide em três classes: Classe 1 (peso maior que 150 kg); Classe 2 (peso menor ou igual a 150kg e maior que 25kg); Classe 3 (peso menor ou igual a 25kg). O projeto entra na classe 3, onde se operados até 120 metros e em linha de “visada visual”, não será requerido e nem necessário o registro do piloto, equipamento e do voo. Licença e habilitação somente serão requeridas para quem pretende operar acima dos 120 metros. As operações só poderão ocorrer a uma distância mínima de 30 metros de uma pessoa, porém a distância pode ser menor no caso de pessoas anuentes (aquelas que concordarem expressamente com a operação), ou das pessoas envolvidas na operação. Os pilotos deverão ser maiores de 18 anos (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015).

Na seção abaixo é descrito o desenvolvimento do projeto *Smartdrone*.

Considerações operacionais

Para fazer a reprodução de um controle, utiliza-se algumas tecnologias de *hardware* e *software*. Para a ação de um comando do *Smartphone* chegar até a placa controladora de voo é necessário um aplicativo *mobile* para enviá-lo, um módulo *wi-fi* para a captura do sinal, uma plataforma de prototipagem chamada Arduino para receber e fazer a reprodução do controle e uma placa controladora para receber esses controles reproduzidos pelo Arduino.

Na seção seguinte, apresenta-se as especificações básicas de um Drone.

Especificações

O *Drone* possui alguns comandos de navegação para executar os movimentos, sendo eles:

- **Yaw:** A ação yaw faz com o que o *Drone* gire no seu próprio eixo Z para o lado esquerdo ou parar o lado direito. Para essa ação ser executada, um motor do lado esquerdo da parte da frente e outro motor do lado direito da parte traseira sofrem variações de potência fazendo com que ocorra o giro (PRI,2015);
- **Picth:** A ação picth faz com o que o *Drone* vá para frente ou para trás no seu eixo Y. Para essa ação ser executada, utilizam-se dois motores da parte traseira ou da parte dianteira; é executado fazendo com que vá para frente ou para trás (ibidem);
- **Roll:** A ação roll faz com o que o *Drone* vire para o lado esquerdo ou para o lado direito no seu eixo X. Para essa ação ser executada, os motores do lado esquerdo ou do lado direito têm variações de potência fazendo com que vá para esquerda ou para direita (ibidem);
- **Throt:** A ação throt faz com o que o *Drone* se desloque verticalmente, ou seja, ocorre mudança de valor de Z fazendo com o que mude o valor da altitude. Para essa ação ser executada é preciso que os quatros motores aumentem as suas potências com a mesma proporção fazendo com que ganhe altitude (ibidem).

As Figuras 1 e 2 ilustram as especificações básicas de um *Drone*.

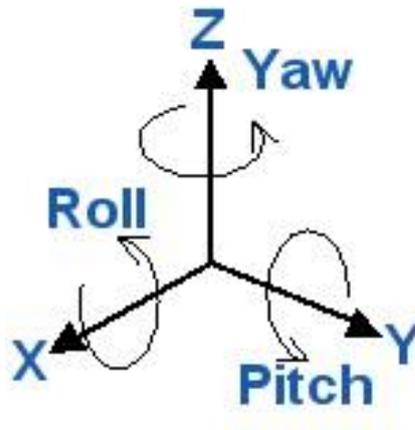


Figura 1 - Rotações do Drone. Fonte: Alex, 2012.

Yaw Pitch Roll

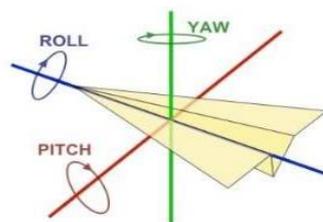


Figura 2 - Direções do Drone. Fonte: Xu, 2014.

A próxima seção descreve o aplicativo e seus códigos para executar comandos a serem enviados ao Arduino Uno.

Aplicativo

O aplicativo desenvolvido é executado em um *Smartphone* que possui o sistema operacional Android. Para fazer a comunicação entre o dispositivo móvel e o módulo *wi-fi* ESP 8266-01 são necessárias as implementações de rotinas computacionais, sendo que o objetivo é abrir uma conexão com o servidor, e para isso utiliza-se a classe *Socket* da linguagem de programação Java. Essa classe estabelece uma conexão com o servidor através do IP e da porta de serviço, permitindo enviar ou receber informações. A implementação dessa rotina computacional é desenvolvida dentro de uma *Thread* para que os serviços

executados paralelamente não sejam interrompidos devido à complexidade da rotina.

O aplicativo *mobile* para o controle do *SmartDrone* possui uma única tela com oito botões, sendo que cada botão tem uma ação definida, além de ter um *menu* com as opções Ligar/Desligar, Trimagem e Baro.

Todos os botões com as suas respectivas ações estão alinhados de uma forma para representar um controle real, mas com uma interface visual mais intuitiva onde o manuseio dos comandos é facilitado. Na Figura 3 ilustra-se os respectivos alinhamentos para simular o visual de um controle de rádio frequência.



Figura 3 - Aplicativo para Controle. Fonte: autores.

Na próxima seção apresenta-se a plataforma de prototipagem eletrônica utilizada no projeto para fazer a simulação de um receptor de rádio frequência.

Arduino Uno

Para reproduzir os comandos do receptor de um controle é utilizado um Arduino Uno. As funções executadas pelo Arduino neste trabalho são: executar e receber um comando através da entrada serial, fazer a verificação dessa informação e mudar o valor de algum comando. Para receber os dados que chegam até o Arduino e para fazer a reprodução de um controle é necessário utilizar bibliotecas disponibilizadas pelo Arduino. As bibliotecas utilizadas são a Servo para fazer a reprodução dos comandos de um controle e a biblioteca *SoftwareSerial*

responsável por monitorar todas as operações utilizando o protocolo de comunicação serial.

Na inicialização do código é definido que as portas digitais 3, 5, 9, 10, 11 estão ligadas no receptor de comandos da placa controladora de voo. A inicialização desses valores é feita com valores intermediários, e essas variações de valores são compreendidas entre zero até cento e oitenta. Com isso o valor intermediário definido é 90.

Para cada representação de comando é necessária a criação de uma variável do tipo Servo, e essas variáveis tem a responsabilidade de mandar comandos à placa controladora de acordo com os valores recebidos por parâmetros.

Para que os comandos do servo sejam reproduzidos corretamente é necessária a definição da relação porta digital/servo. Com isso, para cada variável do tipo Servo declarada no início da programação direciona-se a uma porta digital. Esse direcionamento é feito através da função *attach* da biblioteca Servo. Essa função recebe como parâmetros o número da porta digital.

A comunicação entre o módulo *wi-fi* ESP 8266-01 e o Arduino Uno é feita utilizando o protocolo de comunicação Serial. Com isso, é necessário utilizar duas portas digitais do Arduino para fazer a comunicação com o módulo, sendo RX para receber e TX para enviar informações.

Módulo *Wi-Fi* ESP 8266

O módulo *wi-fi* precisa ser configurado antes da sua inicialização. Para fazer as devidas configurações é necessário o envio de comandos AT através do protocolo de comunicação Serial. Esses comandos são enviados até o módulo e têm o objetivo de fazer mudanças nas configurações padrão estabelecidas pelo dispositivo, além de fazer essas configurações foi feito uma atualização no firmware para que o dispositivo possa ficar com a sua última versão para ter um melhor desempenho.

Utiliza-se o modo de operação *Acess Point*, esse modo torna o dispositivo um ponto de acesso a todos dispositivos com comunicação *wi-fi*, ou seja, na ativação desse modo, o módulo fica responsável por fornecer conectividade entre

os dispositivos conectados ao módulo, podendo-se dizer que esse modo de trabalho equivale a um roteador. Para configurar o módulo como Access Point é necessário o envio do seguinte comando: "AT+CWMODE=3".

Para o envio de todas as configurações para o módulo é programado um vetor do tipo *String* onde cada posição do vetor armazena uma configuração. Assim que as configurações são concluídas, executam-se operações computacionais onde as leituras das informações que chegam até no módulo *wi-fi* são analisadas. Se no módulo *wi-fi* capturar algum comando serial que corresponde aos comandos programados são executadas ações que reproduzem o controle.

Pulse Width Modulation (PWM)

Largura de Pulso de Modulação, ou PWM é um conceito de transmissão de sinais analógicos com meios digitais. Os sinais digitais são utilizados para criar ondas quadradas, alternando entre opções ligado e desligado, conhecida como *on/off* e quando ligada por completo chega a 5 Volts e desligada 0 Volts. O sinal digital passa em função do tempo que é chamado de largura de impulso. *DutyCycle* (Ciclo de trabalho) é a porcentagem de tempo em que o pulso está ligado. Comparando com o tempo que está desligado, a vantagem é que na modulação de largura do pulso está com o valor nominal de pico, gerando um maior torque nos motores. O Arduino envia comandos PWM para a placa controladora. Devidos aos resultados dos sensores, a placa controladora efetua cálculos e a resultante são sinais PWM para os ESC's. O ESC recebe o sinal PWM e aumenta ou diminui a amperagem do motor (HIRZEL,2014).

Placa Controladora de Voo

A placa controladora é responsável por estabilizar o voo, nela estão o barômetro, acelerômetro e giroscópio. As portas digitais do Arduino que reproduzem os comandos do controle são ligadas nas entradas digitais da placa controladora que recebem os comandos dos controles. Na Figura 4 é demonstrada

a imagem de uma placa controladora de voo (Crius v.25) e suas descrições de entrada do receptor do controle.

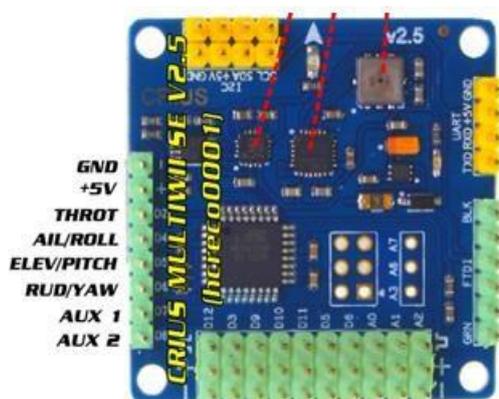


Figura 4 - Placa controladora de voo Crius v.25. Fonte: Multiwii, 2014.

A placa controladora Crius v2.5 possui código aberto, podendo ser baixado do site do fabricante. Essa placa é baseada no Arduino, com isso os códigos foram escritos na própria IDE. O padrão de fábrica da placa vem sem códigos para fazer o gerenciamento do Drone, com isso, é necessário fazer o *upload* do código.

Devido à grande diversidade de módulos (GPS, Câmera, Bluetooth, entre outros), tipos de *Drones*, modelos de placa controladora, entre outros, a programação possui um arquivo de configuração onde se definem todos os detalhes utilizados na construção do *Drone*. Esse arquivo de configuração é “config.h”, ele possui várias especificações de equipamentos e para utilizá-lo basta apenas retirar os comentários das linhas que possuem as especificações.

No projeto é utilizada a versão a placa controladora Crius v2.5 e para que a programação consiga reconhecer a utilização dessa placa é necessário não comentar a linha que representa esse modelo de placa.

Para fazer configurações de voo da placa controladora Crius v2.5 é necessário utilizar um programa com o nome de MultiWiiConf, e esse programa é capaz de fazer a leitura, em tempo real, de todos os sensores disponíveis, fazendo com o que facilite os testes de configurações.

Para ter um voo estabilizado é necessária a utilização dos sensores da placa controladora. Voos com todos os sensores ativados são para voos não acrobáticos onde a estabilidade é a principal função que a placa controladora deverá executar

em todo tempo de voo. Já para voos acrobáticos, onde o controle do *Drone* fica mais com o piloto do que com a placa controladora, os sensores são desativados tirando a responsabilidade de estabilização da placa controladora (Admin,2014). Os sensores utilizados na Crius v2.5 são: Barômetro, Acelerômetro e Giroscópio.

A função do barômetro é capturar a altitude do *Drone* através da pressão atmosférica. Esses valores são enviados para a placa controladora fazer a estabilidade de voo em relação à altura do *Drone*.

A função do acelerômetro é fazer a leitura de deslocamento do *Drone*. Os deslocamentos lidos são em relação ao X, Y, Z do plano cartesiano, através dessas informações é executada a estabilidade do voo fazendo com o que o *Drone* mantenha inclinações a zero grau de cada eixo.

A função do Giroscópio na placa controladora é fornecer qual é a direção do *Drone*, ou seja, fornece as coordenadas Norte, Sul, Leste e Oeste. Com essas informações vindas do giroscópio interpretadas pela placa controladora, o *Drone* mantém a sua coordenada. Caso ocorra deslocamento a placa controladora de voo irá identificar e executar ações de controle para que o *Drone* volte na sua coordenada.

Com a utilização dos sensores é possível criar modos de voo. Na placa controladora Crius v2.5 existem modos de voos programados para fazer o gerenciamento do controle de estabilidade dando ao *Drone* vários tipos de comportamento. Quando é utilizado algum modo de voo que necessita de um sensor é necessário fazer a calibração desse sensor antes de utilizar o modo de voo, porque os modos de voos necessitam de informações que vêm através dos sensores da placa controladora, quanto maior for a precisão dos sensores, maior é a qualidade do modo de voo (Admin,2014). Os modos de voos adicionais são apresentados abaixo (FLIGHTMODES,2014).

- Acro: É o modo padrão quando HORIZON e ANGLE não estão acionados;
- Angle: Modo estável se os valores do PID forem ajustados corretamente e se o giroscópio e o acelerômetro estiverem calibrados e aparados;
- Horizon: Mistura entre os modos ANGLE e HORIZON. Combinando o efeito de estabilidade com a suavidade do joystick RC.

Existem também modos de voos adicionais que podem ser combinados juntos com os modos de voos principais (Admin,2014). Os modos de voos adicionais são:

- BARO: Apenas o barômetro é utilizado, com o propósito de manter certa altura, enquanto não houver nenhum outro comando do *joystick* RC. Esse modo utiliza-se o Giroscópio, Barômetro e Acelerômetro;
- MAG: Modo de leitura travada. Pode ser ativado por todos os métodos de estabilização de voo. Esse modo utiliza o Giroscópio, Barômetro e Acelerômetro.

Nesse projeto é utilizado o acionamento de todos os sensores disponíveis na placa controladora (Giroscópio, Barômetro e Acelerômetro) e também é utilizado o modo de vôo *Horizon* que faz o gerenciamento de estabilidade do voo junto com a combinação dos valores PID e com a trimagem (ajuste do *trim*, configuração feita para compensar a tendências de voo, caso o *drone* estiver “escorregando” muito em determinada direção).

Os sensores trabalham junto com os valores do PID, e a combinação dos dois elementos traz a estabilidade no voo e os modos de voo programados na Crius v2.5. PID é um regulador Proporcional Integrativo e Derivativo, e as combinações dos três elementos traz a estabilidade do *Drone*. A função do regulador PID é quando a orientação do *Drone* é mudada em alguma direção, o Giroscópio captura essa mudança angular e o regulador entra em ação para voltar à posição inicial. As definições de cada elemento do PID são:

- O Proporcional é a quantidade de força aplicada que no caso é convertida em rotações nos motores para fazerem com o que o Drone volte na sua posição inicial;
- Integrativo é o tempo que será gasto para que a mudança angular seja medida e aplicada uma força de compensação para o Drone voltar na sua posição inicial;
- Derivativo é a diminuição do tempo que será gasto para que as mudanças angulares sejam medidas e aplicada uma força de compensação fazendo com o que a estabilização seja feita de uma forma mais rápida tirando as possíveis vibrações excessivas.

No projeto são utilizados os valores padrão do PID, e esses valores vêm acompanhados do código que é feito por *upload* na placa controladora de voo.

Quando a placa controladora manda algum comando para aumentar ou diminuir a rotação de algum motor essa informação é enviada para o *Eletronic SpeedControl* (ESC) onde ele ficará responsável por fazer o gerenciamento das rotações.

Eletronic SpeedControl

O *Eletronic SpeedControl* (ESC) recebe energia da bateria e alimenta a placa controladora para fazer o gerenciamento dos voos. Outra responsabilidade do (ESC) é fazer o gerenciamento de corrente que o motor receberá. A placa controladora de voo manda informação para o ESC e de acordo com essas informações ocorre o aumento ou a diminuição de corrente para o motor, fazendo que ocorra diferença nas suas rotações, ou seja, quando o ESC libera mais corrente para o motor a velocidade de rotação aumenta e quando diminui a corrente que alimenta o motor a velocidade de rotação diminui (PONTES,2013).

Motores

Os motores que recebem corrente e tensão dos ESC são motores sem escovas. Esses motores possuem algumas vantagens, como: maior tempo de vida, devido ao fato de não ter escovas para desgastar e fazer trocas; diminuição da manutenção pelo fato de não possuir escovas para trocas; e outra grande vantagem é a sua eficiência em relação aos motores com escovas, podendo chegar a ter um ganho de 15% (BEIDER,2014).

A constante de velocidade do motor é medida em Kv. Quanto maior for o Kv o motor terá uma velocidade maior e o torque é reduzido, e quanto menor for o Kv do motor, terá uma velocidade menor, mais um torque maior. A medida é em rotações por minuto, ou RPM por volts. No caso do motor utilizado no projeto é 1200Kv e alimentado por 11,1V. Com isso, a rotação máxima será de 13320 rotações por minuto, quando a carga do *Drone* é desconsiderada (BEIDER,2014).

Protótipo

Na Figura 5, apresenta-se o protótipo pronto incluindo o Arduino Uno, *frame*, motores, hélices, placa controladora, *esc*, alarme monitor de bateria, bateria.



Figura 5 – Protótipo do drone. Fonte: autores.

Resultados

Os principais testes foram de estabilização, fazendo com que o *drone* possa se estabilizar no ar. Inicialmente, para fazer os testes de voo, foi utilizado um rádio controle onde se obtém uma maior segurança em caso de perda de sinal.

Utilizando o modo *ANGLE* da placa controladora, obteve-se a estabilidade deixando-o horizontalmente na mesma posição. No modo *MAG*, obteve-se a direção das coordenadas geográficas. Quando ele girava, automaticamente já identificava o giro e voltava no seu modo inicial, sendo que possui uma pequena oscilação na rotação do seu próprio eixo Z.

Inicialmente foram utilizados hélices de 10x4.5, porém o motor esquentava demais, fazendo com que ficasse mais pesado e quebrando muitas hélices. Além de não ter o torque suficiente, não possuindo uma resposta rápida e, ao longo do desenvolvimento do projeto, foi trocada pela 9x4,7 o que melhorou o desempenho. Também não houve vibrações do motor, e obteve-se um maior torque. Esta

diminuição da vibração e o balanceamento de peso são importantes fatores operacionais, já que ambos lados devem possuir o mesmo peso.

A bateria utilizada possui 2200mha, permitindo que seu tempo de voo seja de no máximo de 10 minutos. A descarga utilizada foi de 40C, sendo que inicialmente foi utilizada uma bateria com 30C, que não suportou a descarga.

Utilizando-se o aplicativo obteve-se uma resposta rápida com um *design* fácil. O mesmo teve poucas linhas de comando, sendo possível executar todas as funcionalidades necessárias.

Com o modulo *wi-fi* obteve-se a resposta rápida com o novo *firmware*, que disponibilizou mais opções de configuração, como por exemplo, fazer a escolha do *Baut Rate* para a troca de informação com o Arduino pelo *serial*.

O Arduino Uno, por ser uma ferramenta didática, conseguiu fazer o gerenciamento do recebimento dos comandos *wi-fi* e realizar todos os controles de processamentos das portas digitais PWM.

O motor utilizado com a configuração de 1200kv conseguiu executar o gerenciamento do *drone* sem aquecer, com um torque necessário para o voo e com velocidade considerável.

O *esc* utilizado, apesar de possuir uma baixa taxa de velocidade, conseguiu proceder o gerenciamento dos comandos recebidos da placa controladora e o gerenciamento das correntes para os motores.

Conclusão

O aplicativo conseguiu executar o controle do *drone*, porém não possui a mesma habilidade de um rádio controle próprio para *drones*, e também possui uma distância máxima de aproximadamente 40 metros.

De acordo com os resultados obtidos, o estudo feito no projeto foi o esperado. O aplicativo obteve uma resposta suficiente para o controle de um *drone*, o modulo *wi-fi* recebe comandos do aplicativo onde envia para o Arduino que responde rapidamente. A programação favoreceu o tempo de resposta atendendo todos os comandos dados. O Arduino Uno atingiu o objetivo, recebendo

todos os comandos e fazendo toda a verificação dos mesmos, e enviando os dados para a placa controladora.

A placa controladora é responsável por estabilizar o voo, e para isto foram feitos vários testes verificando a melhor condição de estabilidade para voar, além de muitos testes, até se chegar na mais precisa. Nos testes foram usados vários modos de voo e várias configurações no PID, além de fazer a “trimagem” que proporcionou mais precisão no voo. O aplicativo possui um botão chamado Baro. E esse botão faz com que o *drone* permaneça na altura com uma variação de 1 a 2 metros, com a finalidade de verificar a pressão atmosférica.

Conclui-se que esse projeto foi um sucesso, atendendo requisitos de vários estudos precedentes realizados. Desenvolveu-se uma tecnologia inovadora, obtendo-se como maior inovação tecnológica, o fato do receptor *wi-fi* conseguir efetuar o controle do *drone* via aplicativo *mobile*, além da possibilidade de conexão à outros *drones*, substituindo assim o uso do rádio controle.

Referências bibliográficas

ALEX; *The Quadcopter: control the orientation 2012*. Disponível em: <<http://theboredengineers.com/2012/05/thequadcopter-basics/3>>. Acesso em: 17 set. 2015.

ANAC Agência Nacional de Aviação Civil; *Licença e habilitação de voo*. 2015. Disponível em:

<http://www.anac.gov.br/Noticia.aspx?ttCD_CHAVE=1914&slCD_ORIGEM=29#>.

Acesso em: 23 set. 2015.

BEIDER, Fabio. *Construindo um drone autônomo*. 28 maio 2014. Disponível em:

<<http://www.devminimi.com.br/construindo-um-drone-autonomo-motor/>>.

Acesso em: 17 set. 2015.

FLIGHTMODES, 2014. Disponível em:

<<http://www.multiwii.com/wiki/?title=Flightmodes>>. Acesso em: 10 set. 2015.

HIRZEL, Timothy, *PWM*, 2014. Disponível

em:<<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>> Acesso em 24 de set. 2015.

OLHAR DIGITAL. *Intel investe US\$60 milhões em parceria para construir drones*, 2015. Disponível em:

<<http://olhardigital.uol.com.br/pro/noticia/intel-investe-us-60-milhoes-emparceria-para-construir-drones/50857>>. Acesso em: 10 set. 2015.

PAROOT. *Bebop Drone*. 2015. Disponível em:

<<http://www.parrot.com/usa/products/bebopdrone/>>. Acesso em: 05 set. 2013.

PONTES, Murilo Rebelo; *Eletronic Speed control*, 2013. Disponível em:

<<http://www.murilopontes.eng.br/2013/11/esc.html>>. Acesso em: 05 set. 2015.

PRATES, Izabela; *Drones: A indústria de 91 bilhões de dólares em 2024*. 2014.. Disponível em:

<<http://mundogeo.com/blog/2014/08/05/drones-a-industria-de-91-bilhoes-dedolares-em-2024/>>. Acesso em: 14 set. 2015.

PRI, Ans; *Quadcopter Yaw Roll and Pitch Defined*. Disponível em:

<<http://www.quadcopterflyers.com/2015/02/quadcopters-yaw-roll-and-pitchdefined.html>>. Acesso em: 14 set. 2015.

ZANO. 2015. *Remote Control Drone*. Disponível em:

<<http://flyzano.com/about/>>. Acesso em: 27 abr. 2013.